

(12)特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局



(43) 国際公開日  
2003年3月20日 (20.03.2003)

PCT

(10) 国際公開番号  
WO 03/023481 A1

(51) 国際特許分類: G02B 13/24,  
27/28, G03F 7/20, 7/22, H01L 21/02

(21) 国際出願番号: PCT/JP02/08726

(22) 国際出願日: 2002年8月29日 (29.08.2002)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:  
特願2001-272648 2001年9月7日 (07.09.2001) JP

(71) 出願人(米国を除く全ての指定国について): 株式会社  
ニコン (NIKON CORPORATION) [JP/JP]; 〒100-8331  
東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 Tokyo (JP).

(72) 発明者; および  
(75) 発明者/出願人(米国についてのみ): 大村 泰弘

(63) (65) (67) (69) (70) (71) (72) (73) (74) (75) (76) (77) (78) (79) (80) (81) (82) (83) (84) (85) (86) (87) (88) (89) (90) (91) (92) (93) (94) (95) (96) (97) (98) (99) (100) (101) (102) (103) (104) (105) (106) (107) (108) (109) (110) (111) (112) (113) (114) (115) (116) (117) (118) (119) (120) (121) (122) (123) (124) (125) (126) (127) (128) (129) (130) (131) (132) (133) (134) (135) (136) (137) (138) (139) (140) (141) (142) (143) (144) (145) (146) (147) (148) (149) (150) (151) (152) (153) (154) (155) (156) (157) (158) (159) (160) (161) (162) (163) (164) (165) (166) (167) (168) (169) (170) (171) (172) (173) (174) (175) (176) (177) (178) (179) (180) (181) (182) (183) (184) (185) (186) (187) (188) (189) (190) (191) (192) (193) (194) (195) (196) (197) (198) (199) (200) (201) (202) (203) (204) (205) (206) (207) (208) (209) (210) (211) (212) (213) (214) (215) (216) (217) (218) (219) (220) (221) (222) (223) (224) (225) (226) (227) (228) (229) (230) (231) (232) (233) (234) (235) (236) (237) (238) (239) (240) (241) (242) (243) (244) (245) (246) (247) (248) (249) (250) (251) (252) (253) (254) (255) (256) (257) (258) (259) (260) (261) (262) (263) (264) (265) (266) (267) (268) (269) (270) (271) (272) (273) (274) (275) (276) (277) (278) (279) (280) (281) (282) (283) (284) (285) (286) (287) (288) (289) (290) (291) (292) (293) (294) (295) (296) (297) (298) (299) (300) (301) (302) (303) (304) (305) (306) (307) (308) (309) (310) (311) (312) (313) (314) (315) (316) (317) (318) (319) (320) (321) (322) (323) (324) (325) (326) (327) (328) (329) (330) (331) (332) (333) (334) (335) (336) (337) (338) (339) (340) (341) (342) (343) (344) (345) (346) (347) (348) (349) (350) (351) (352) (353) (354) (355) (356) (357) (358) (359) (360) (361) (362) (363) (364) (365) (366) (367) (368) (369) (370) (371) (372) (373) (374) (375) (376) (377) (378) (379) (380) (381) (382) (383) (384) (385) (386) (387) (388) (389) (390) (391) (392) (393) (394) (395) (396) (397) (398) (399) (400) (401) (402) (403) (404) (405) (406) (407) (408) (409) (410) (411) (412) (413) (414) (415) (416) (417) (418) (419) (420) (421) (422) (423) (424) (425) (426) (427) (428) (429) (430) (431) (432) (433) (434) (435) (436) (437) (438) (439) (440) (441) (442) (443) (444) (445) (446) (447) (448) (449) (450) (451) (452) (453) (454) (455) (456) (457) (458) (459) (460) (461) (462) (463) (464) (465) (466) (467) (468) (469) (470) (471) (472) (473) (474) (475) (476) (477) (478) (479) (480) (481) (482) (483) (484) (485) (486) (487) (488) (489) (490) (491) (492) (493) (494) (495) (496) (497) (498) (499) (500) (501) (502) (503) (504) (505) (506) (507) (508) (509) (510) (511) (512) (513) (514) (515) (516) (517) (518) (519) (520) (521) (522) (523) (524) (525) (526) (527) (528) (529) (530) (531) (532) (533) (534) (535) (536) (537) (538) (539) (540) (541) (542) (543) (544) (545) (546) (547) (548) (549) (550) (551) (552) (553) (554) (555) (556) (557) (558) (559) (5510) (5511) (5512) (5513) (5514) (5515) (5516) (5517) (5518) (5519) (5520) (5521) (5522) (5523) (5524) (5525) (5526) (5527) (5528) (5529) (5530) (5531) (5532) (5533) (5534) (5535) (5536) (5537) (5538) (5539) (55310) (55311) (55312) (55313) (55314) (55315) (55316) (55317) (55318) (55319) (55320) (55321) (55322) (55323) (55324) (55325) (55326) (55327) (55328) (55329) (55330) (55331) (55332) (55333) (55334) (55335) (55336) (55337) (55338) (55339) (553310) (553311) (553312) (553313) (553314) (553315) (553316) (553317) (553318) (553319) (553320) (553321) (553322) (553323) (553324) (553325) (553326) (553327) (553328) (553329) (553330) (553331) (553332) (553333) (553334) (553335) (553336) (553337) (553338) (553339) (5533310) (5533311) (5533312) (5533313) (5533314) (5533315) (5533316) (5533317) (5533318) (5533319) (5533320) (5533321) (5533322) (5533323) (5533324) (5533325) (5533326) (5533327) (5533328) (5533329) (5533330) (5533331) (5533332) (5533333) (5533334) (5533335) (5533336) (5533337) (5533338) (5533339) (55333310) (55333311) (55333312) (55333313) (55333314) (55333315) (55333316) (55333317) (55333318) (55333319) (55333320) (55333321) (55333322) (55333323) (55333324) (55333325) (55333326) (55333327) (55333328) (55333329) (55333330) (55333331) (55333332) (55333333) (55333334) (55333335) (55333336) (55333337) (55333338) (55333339) (553333310) (553333311) (553333312) (553333313) (553333314) (553333315) (553333316) (553333317) (553333318) (553333319) (553333320) (553333321) (553333322) (553333323) (553333324) (553333325) (553333326) (553333327) (553333328) (553333329) (553333330) (553333331) (553333332) (553333333) (553333334) (553333335) (553333336) (553333337) (553333338) (553333339) (5533333310) (5533333311) (5533333312) (5533333313) (5533333314) (5533333315) (5533333316) (5533333317) (5533333318) (5533333319) (5533333320) (5533333321) (5533333322) (5533333323) (5533333324) (5533333325) (5533333326) (5533333327) (5533333328) (5533333329) (5533333330) (5533333331) (5533333332) (5533333333) (5533333334) (5533333335) (5533333336) (5533333337) (5533333338) (5533333339) (55333333310) (55333333311) (55333333312) (55333333313) (55333333314) (55333333315) (55333333316) (55333333317) (55333333318) (55333333319) (55333333320) (55333333321) (55333333322) (55333333323) (55333333324) (55333333325) (55333333326) (55333333327) (55333333328) (55333333329) (55333333330) (55333333331) (55333333332) (55333333333) (55333333334) (55333333335) (55333333336) (55333333337) (55333333338) (55333333339) (553333333310) (553333333311) (553333333312) (553333333313) (553333333314) (553333333315) (553333333316) (553333333317) (553333333318) (553333333319) (553333333320) (553333333321) (553333333322) (553333333323) (553333333324) (553333333325) (553333333326) (553333333327) (553333333328) (553333333329) (553333333330) (553333333331) (553333333332) (553333333333) (553333333334) (553333333335) (553333333336) (553333333337) (553333333338) (553333333339) (5533333333310) (5533333333311) (5533333333312) (5533333333313) (5533333333314) (5533333333315) (5533333333316) (5533333333317) (5533333333318) (5533333333319) (5533333333320) (5533333333321) (5533333333322) (5533333333323) (5533333333324) (5533333333325) (5533333333326) (5533333333327) (5533333333328) (5533333333329) (5533333333330) (5533333333331) (5533333333332) (5533333333333) (5533333333334) (5533333333335) (5533333333336) (5533333333337) (5533333333338) (5533333333339) (55333333333310) (55333333333311) (55333333333312) (55333333333313) (55333333333314) (55333333333315) (55333333333316) (55333333333317) (55333333333318) (55333333333319) (55333333333320) (55333333333321) (55333333333322) (55333333333323) (55333333333324) (55333333333325) (55333333333326) (55333333333327) (55333333333328) (55333333333329) (55333333333330) (55333333333331) (55333333333332) (55333333333333) (55333333333334) (55333333333335) (55333333333336) (55333333333337) (55333333333338) (55333333333339) (553333333333310) (553333333333311) (553333333333312) (553333333333313) (553333333333314) (553333333333315) (553333333333316) (553333333333317) (553333333333318) (553333333333319) (553333333333320) (553333333333321) (553333333333322) (553333333333323) (553333333333324) (553333333333325) (553333333333326) (553333333333327) (553333333333328) (553333333333329) (553333333333330) (553333333333331) (553333333333332) (553333333333333) (553333333333334) (553333333333335) (553333333333336) (553333333333337) (553333333333338) (553333333333339) (5533333333333310) (5533333333333311) (5533333333333312) (5533333333333313) (5533333333333314) (5533333333333315) (5533333333333316) (5533333333333317) (5533333333333318) (5533333333333319) (5533333333333320) (5533333333333321) (5533333333333322) (5533333333333323) (5533333333333324) (5533333333333325) (5533333333333326) (5533333333333327) (5533333333333328) (5533333333333329) (5533333333333330) (5533333333333331) (5533333333333332) (5533333333333333) (5533333333333334) (5533333333333335) (5533333333333336) (5533333333333337) (5533333333333338) (5533333333333339) (55333333333333310) (55333333333333311) (55333333333333312) (55333333333333313) (55333333333333314) (55333333333333315) (55333333333333316) (55333333333333317) (55333333333333318) (55333333333333319) (55333333333333320) (55333333333333321) (55333333333333322) (55333333333333323) (55333333333333324) (55333333333333325) (55333333333333326) (55333333333333327) (55333333333333328) (55333333333333329) (55333333333333330) (55333333333333331) (55333333333333332) (55333333333333333) (55333333333333334) (55333333333333335) (55333333333333336) (55333333333333337) (55333333333333338) (55333333333333339) (553333333333333310) (553333333333333311) (553333333333333312) (553333333333333313) (553333333333333314) (553333333333333315) (553333333333333316) (553333333333333317) (553333333333333318) (553333333333333319) (553333333333333320) (553333333333333321) (553333333333333322) (553333333333333323) (553333333333333324) (553333333333333325) (553333333333333326) (553333333333333327) (553333333333333328) (553333333333333329) (553333333333333330) (553333333333333331) (553333333333333332) (553333333333333333) (553333333333333334) (553333333333333335) (553333333333333336) (553333333333333337) (553333333333333338) (553333333333333339) (5533333333333333310) (5533333333333333311) (5533333333333333312) (5533333333333333313) (5533333333333333314) (5533333333333333315) (5533333333333333316) (5533333333333333317) (5533333333333333318) (5533333333333333319) (5533333333333333320) (5533333333333333321) (5533333333333333322) (5533333333333333323) (5533333333333333324) (5533333333333333325) (5533333333333333326) (5533333333333333327) (5533333333333333328) (5533333333333333329) (5533333333333333330) (5533333333333333331) (5533333333333333332) (5533333333333333333) (5533333333333333334) (5533333333333333335) (5533333333333333336) (5533333333333333337) (5533333333333333338) (5533333333333333339) (55333333333333333310) (55333333333333333311) (55333333333333333312) (55333333333333333313) (55333333333333333314) (55333333333333333315) (55333333333333333316) (55333333333333333317) (55333333333333333318) (55333333333333333319) (55333333333333333320) (55333333333333333321) (55333333333333333322) (55333333333333333323) (55333333333333333324) (55333333333333333325) (55333333333333333326) (55333333333333333327) (55333333333333333328) (55333333333333333329) (55333333333333333330) (55333333333333333331) (55333333333333333332) (55333333333333333333) (55333333333333333334) (55333333333333333335) (55333333333333333336) (55333333333333333337) (55333333333333333338) (55333333333333333339) (553333333333333333310) (553333333333333333311) (553333333333333333312) (553333333333333333313) (553333333333333333314) (553333333333333333315) (553333333333333333316) (553333333333333333317) (553333333333333333318) (553333333333333333319) (553333333333333333320) (553333333333333333321) (553333333333333333322) (553333333333333333323) (553333333333333333324) (553333333333333333325) (553333333333333333326) (553333333333333333327) (553333333333333333328) (553333333333333333329) (553333333333333333330) (553333333333333333331) (553333333333333333332) (553333333333333333333) (553333333333333333334) (553333333333333333335) (553333333333333333336) (553333333333333333337) (553333333333333333338) (553333333333333333339) (5533333333333333333310) (5533333333333333333311) (5533333333333333333312) (5533333333333333333313) (5533333333333333333314) (5533333333333333333315) (5533333333333333333316) (5533333333333333333317) (5533333333333333333318) (5533333333333333333319) (5533333333333333333320) (5533333333333333333321) (5533333333333333333322) (5533333333333333333323) (5533333333333333333324) (5533333333333333333325) (5533333333333333333326) (5533333333333333333327) (55333333



GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, SK, TR), OAPI 特許 (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

添付公開書類:

— 國際調査報告書

---

(57) 要約:

本発明は、複屈折の影響により結像性能を悪化させることなく、光学系の光軸に対して回転非対称な光学特性（例えば、回転非対称な非点収差及び倍率誤差成分等）を調整することが可能な光学系を提供することを目的とする。本発明に係る光学系では、萤石によって形成され、回転非対称なパワーを有するトーリックレンズと萤石によって形成された補正レンズとが対をなし、補正レンズは、その結晶軸が、トーリックレンズの結晶軸に対して所定の位置関係となるように配置される。また、トーリックレンズ及び補正レンズは、光軸の周りに回転可能に構成され、かつ光軸を横切る方向に移動可能に構成されるが、トーリックレンズが回転及び移動する時であっても、上記所定の位置関係は維持される。

## 明細書

光学系、投影光学系、この投影光学系を備えた露光装置、及びこの露光装置を用いたマイクロデバイスの製造方法

## 発明の背景

## 1. 発明の利用分野

本発明は、半導体素子、液晶表示素子、撮像素子、薄膜磁気ヘッド、その他のマイクロデバイスの製造工程にて用いられる露光装置、この露光装置に設けられる光学系及び投影光学系、並びにこの露光装置を用いたマイクロデバイスの製造方法に関する。

## 2. 従来技術の記載

半導体素子、液晶表示素子、撮像素子、薄膜磁気ヘッド、その他のマイクロデバイスの製造には、マスクとしてのレチクルに形成された微細なパターンを投影光学系を介してレジストが塗布されたウェハ又はガラスプレート等の基板上に転写する一括露光型（ステッパー等）、又はステップ・アンド・スキャン方式のような走査露光型の投影露光装置が頻繁に用いられている。このような露光装置を用いて、より微細なパターンを忠実に基板に転写するためには、基板上に投影される投影像の解像度を高めるとともに、像面の平坦性を向上させ、更に、非点収差、歪曲収差（ディストーション）等の各種収差を小さく抑える必要がある。

投影像の解像度を高めるためには、光源から射出される照明光を短波長化するとともに投影光学系の開口数（N. A.）を高く設計する必要がある。このため、波長が 200 nm 以下の真空紫外域の光を射出する光源（例えば、F<sub>2</sub>レーザ（波長：157 nm））及び高い開口数を有する投影光学系を備える露光装置の設計・開発が盛んに行われている。また、投影光学系に残存する各種収差を抑えるためには、投影光学系を構成する光学素子を高い精度で製造し、且つこれらの光学素子を組み立てて投影光学系を製造するときに、その組み立て精度を高くすれば良い。しかしながら、高い製造精度及び組み立て精度の実現は、高コストとなる

ため、現実的ではない。

そこで、回転非対称なレンズを投影光学系内に組み込み、このレンズを投影光学系の光軸の周りに回転させることで、例えば回転非対称な軸外収差成分（非点収差、像面湾曲等）及び回転非対称な倍率誤差成分等の投影光学系の回転非対称な光学特性を調整可能としながら、コストを抑えつつ耐久性、再現性に優れた高性能な投影光学系を実現する技術が、例えば米国特許 6, 262, 793 号広報に開示されているような回転非対称な光学特性を持つレンズが投影光学系に回転可能に配置される。

ところで、波長が 200 nm 以下の真空紫外域の光を露光光に用いると、レンズ等の光透過性光学素子の材料として今まで一般的に用いられてきた水晶では、吸収の影響が顕著になるために使用が困難となる。このため、透過率の観点から、光透過性光学材料、特に投影光学系内に配置される光透過性光学材料には、フッ化カルシウム（蛍石：CaF<sub>2</sub>）、フッ化バリウム（BaF<sub>2</sub>）、その他のフッ化物結晶を用いることが必須となりつつある。

光源として F<sub>2</sub> レーザを備える露光装置では、主として蛍石を材料としたレンズ等の光学素子を複数備える投影光学系の設計・開発が行われている。蛍石は、その結晶構造が立方晶系に属する結晶であるため、光学的には等方的であり、複屈折が実質的でないと思われていた。また、従来の可視光域の光を用いた実験では、蛍石について小さい複屈折（内部応力起因のランダムなもの）しか観測されていなかった。

しかしながら、2001年5月15日に開かれたリソグラフィに関するシンポジウム（2nd International Symposium on 157 nm Lithography）において、米国 NIST の John H. Burnett らは、蛍石には固有複屈折（intrinsic birefringence）が存在することを実験及び理論の両面から確認したと発表した。この発表によれば、蛍石の複屈折は、結晶軸 [111] 方向及びこれと等価な結晶軸 [-111]， [1-11]， [11-1] 方向、並びに結晶軸 [100] 方向及びこれと等価な結晶軸 [010]， [001] 方向ではほぼ零であるが、その他の方向では実質的に零でない値を有する。

特に、結晶軸 [110]， [-110]， [101]， [-101]， [01

1]，[01-1]の6方向では、波長157nmに対して最大で6.5nm/cm、波長193nmに対して最大で3.6nm/cmの複屈折の値を有する。これらの複屈折の値はランダムな複屈折の許容値とされる1nm/cmよりも実質的に大きい値であり、しかもランダムでない分だけ、複数のレンズを通して複屈折の影響が蓄積する可能性がある。

従来技術では、投影光学系の設計において蛍石の複屈折性を考慮していないので、加工の容易さなどの観点から、結晶軸[111]と光軸とを一致させるのが一般的である。この場合、投影光学系では、NA(開口数)が比較的大きいため、結晶軸[111]からある程度傾いた光線もレンズ等の光透過性光学素子を通過することになり、その結果、複屈折の影響により結像性能が悪化する。従って、投影光学系を構成する光透過性光学素子の結晶方位を様々な組み合わせて、複屈折の影響が相殺するように設計する必要がある。

蛍石からなる光透過性光学素子を有する投影光学系を設計する場合にも、投影光学系の回転非対称な光学特性を調整可能としながら、コストを抑えつつ、耐久性、再現性に優れた高性能な投影光学系を実現する目的で、前述した米国特許6,262,793号広報に示された技術を蛍石で形成されたレンズを有する投影光学系に適用しようとする場合、レンズの回転によりレンズを構成する結晶の各々の面方位も回転するため、投影光学系の非対称な光学特性を補正しようとレンズを回転させると、むしろ複屈折の影響により結像性能が悪化するという問題が生じる。

### 発明の要約

本発明は、上記事情に鑑みてなされたものであり、複屈折の影響による結像性能の悪化を招くことなく、光学系の光軸に対して回転非対称な光学特性(例えば、回転非対称な軸外収差成分(非点収差、像面湾曲等)、回転非対称な倍率誤差成分等)を調整可能としながら、耐久性、再現性に優れた光学系及び投影光学系、この投影光学系を備えた露光装置、及びこの露光装置を用いたマイクロデバイスの製造方法を提供することを目的とする。

すなわち、本発明の第一の観点による光学系は、光軸(AX)に沿って複数の

光学部材が配置された光学系であって、波長が 200 nm 以下の光を実質的に透過させる結晶光学材料から形成され、光学系の光軸 (AX) に対して回転非対称なパワーを有する第一光学部材 (L2、L3、L6、L7) と、波長が 200 nm 以下の光を実質的に透過させる結晶光学材料から形成され、結晶軸が第一光学部材 (L2、L3、L6、L7) の結晶軸と所定の位置関係を有するよう配置された少なくとも 1 つの第二光学部材 (L1、L4、L5、L8) とを含むことを特徴としている。

この発明によれば、光学系の光軸に対して回転非対称な光学特性を補正するために回転非対称なパワーを有する第一光学部材を光学系内に配置した場合であっても、この第一光学部材に対して、結晶軸が第一光学部材の結晶軸と所定の位置関係を有するように第二光学部材が配置されている。従って、第一光学部材が 200 nm 以下の波長の光に対して複屈折性を有しても、その影響が軽減される。その結果、複屈折の影響により結像性能を悪化させることなく、光学系の光軸に対して回転非対称な光学特性を補正することができる。

また、本発明の第一の観点による光学系は、第一光学部材 (L2、L3、L6、L7) 及び第二光学部材 (L1、L4、L5、L8) が、結晶軸と所定の位置関係を保ったまま、光軸 (AX) の周りに回転可能に構成され、又は、第一光学部材 (L2、L3、L6、L7) 及び第二光学部材 (L1、L4、L5、L8) が、結晶軸と所定の位置関係を保ったまま、光軸 (AX) を横切る方向に移動可能に構成されることを特徴としている。

この発明によれば、第一光学部材を光軸周りに回転させ、又は、光軸を横切る方向に移動させた場合であっても、第二光学部材が結晶軸と所定の位置関係を保ったまま光軸の周りに回転し、又は光軸を横切る方向に移動するため、第一光学部材の光軸周りの回転角度又は光軸を横切る方向の移動量に応じた複屈折の影響は変化しない。その結果、複屈折の影響により結像性能を悪化させることなく、光学系の光軸に対して回転非対称な光学特性を調整することができる。

また、本発明の第一の観点による光学系では、第一光学部材 (L2、L3) 及び第二光学部材 (L1、L4) が、光学系の入射端側に配置され、第一光学部材 (L6、L7) 及び第二光学部材 (L5、L8) が、光学系の瞳面又はその近傍

に配置される。

この発明によれば、光学系の入射端側に配置された第一光学部材及び第二光学部材によって、光学系の回転非対称な軸外収差成分（例えば、非点収差）に対する補正の寄与を小さく抑えつつ、回転非対称な倍率誤差に対する補正の寄与を大きくすることができ、瞳面又はその近傍に配置された第一光学部材及び第二光学部材によって光学系の回転非対称な倍率誤差に対する補正の寄与を小さく抑えつつ、回転非対称な軸外収差成分（例えば、非点収差）に対する補正の寄与を大きくすることができる。このように、光学系の光軸に対する回転非対称な光学特性を、その種類毎に個別に補正又は調整することができる。

ここで、本発明の第一の観点による光学系では、第一光学部材（L 2、L 3、L 6、L 7）が、光学系の光軸（AX）に直交する面内において互いに直交する2方向におけるパワーが異なるトーリック型光学部材を含むことが好ましい。

また、本発明の第一の観点による光学系では、第一光学部材（L 2、L 3、L 6、L 7）に入射する光束及び第一光学部材（L 2、L 3、L 6、L 7）を通過する光束と前記照明系の光軸（AX）とのなす角が、20度以下に設定されることが好ましい。

また、本発明の第一の観点による光学系では、第一光学部材（L 2、L 3、L 6、L 7）及び第二光学部材（L 1、L 4、L 5、L 8）が、その結晶軸〔100〕又は結晶軸〔100〕と光学的に等価な結晶軸と、光学系の光軸（AX）とがほぼ一致し、且つ、光軸（AX）を中心としてほぼ45度だけ相対的に回転した位置関係を有するように配置されるか、若しくは、その結晶軸〔111〕又は結晶軸〔111〕と光学的に等価な結晶軸と、光学系の光軸（AX）とがほぼ一致し、且つ、光軸（AX）を中心としてほぼ60度だけ相対的に回転した位置関係を有するように配置されるか、又は、その結晶軸〔110〕又は結晶軸〔110〕と光学的に等価な結晶軸と、光学系の光軸（AX）とがほぼ一致し、且つ、光軸（AX）を中心としてほぼ90度だけ相対的に回転した位置関係を有するように配置されることが好ましい。

更に、本発明の第一の観点による光学系では、第一光学部材（L 2、L 3、L 6、L 7）及び第二光学部材（L 1、L 4、L 5、L 8）の結晶光学材料が、フ

ッ化カルシウム又はフッ化バリウムであることが好ましい。

本発明の第二の観点による光学系は、光軸（AX）に沿って複数の光学部材が配置された光学系であって、波長が200nm以下の光を実質的に透過させる結晶光学材料から形成され、光学系の光軸（AX）に対して回転非対称なパワーを有する第一光学部材（L2、L6）と、波長が200nm以下の光を実質的に透過させる結晶光学材料から形成され、結晶軸が第一光学部材（L2、L6）の結晶軸と所定の位置関係を有するよう配置された少なくとも1つの第二光学部材（L1、L5）と、波長が200nm以下の光を実質的に透過させる結晶光学材料から形成され、光学系の光軸（AX）に対して回転非対称なパワーを有する第三光学部材（L3、L7）と、波長が200nm以下の光を実質的に透過させる結晶光学材料から形成され、結晶軸が第三光学部材（L3、L7）の結晶軸と所定の位置関係を有するよう配置された少なくとも1つの第四光学部材（L4、L8）とを含むことを特徴としている。

また、本発明の第二の観点による光学系は、第一光学部材（L2、L6）及び第二光学部材（L1、L5）、並びに、第三光学部材（L3、L7）及び第四光学部材（L4、L8）の少なくとも1組が、結晶軸と所定の位置関係を保ったまま、光軸（AX）の周りに回転可能に構成され、又は、第一光学部材（L2、L6）及び第二光学部材（L1、L5）、並びに、第三光学部材（L3、L7）及び第四光学部材（L4、L8）の少なくとも1組が、結晶軸と所定の位置関係を保ったまま、光軸（AX）を横切る方向に移動可能に構成されることを特徴としている。

また、本発明の第二の観点による光学系は、第一光学部材から第四光学部材（L1～L4）が、光学系の入射端側に配置され、第一光学部材から第四光学部材（L5～L8）が、光学系の瞳面又はその近傍に配置されることを特徴としている。

ここで、本発明の第二の観点による光学系では、第一光学部材（L2、L6）及び第三光学部材（L3、L7）が、光学系の光軸（AX）に直交する面内において互いに直交する2方向におけるパワーが異なるトーリック型光学部材を含むことが好ましい。

また、本発明の第二の観点による光学系は、第一光学部材（L2、L6）及び第三光学部材（L3、L7）に入射する光束並びに第一光学部材（L2、L6）及び第三光学部材（L3、L7）を通過する光束と、照明系の光軸（AX）とのなす角が、20度以下に設定されることを特徴としている。

また、本発明の第二の観点による光学系は、第一光学部材（L2、L6）及び第二光学部材（L1、L5）は、その結晶軸〔100〕又は結晶軸〔100〕と光学的に等価な結晶軸と、光学系の光軸（AX）とがほぼ一致し、且つ、光軸（AX）を中心としてほぼ45度だけ相対的に回転した位置関係を有するように配置されることを特徴としている。

ここで、第三光学部材（L3、L7）及び第四光学部材（L4、L8）は、その結晶軸〔100〕又は結晶軸〔100〕と光学的に等価な結晶軸と、光学系の光軸（AX）とがほぼ一致し、且つ、光軸（AX）を中心としてほぼ45度だけ相対的に回転した位置関係を有するように配置されるか、若しくは、その結晶軸〔111〕又は結晶軸〔111〕と光学的に等価な結晶軸と、光学系の光軸（AX）とがほぼ一致し、且つ、光軸（AX）を中心としてほぼ60度だけ相対的に回転した位置関係を有するように配置されるか、又は、その結晶軸〔110〕又は結晶軸〔110〕と光学的に等価な結晶軸と、光学系の光軸（AX）とがほぼ一致し、且つ、光軸（AX）を中心としてほぼ90度だけ相対的に回転した位置関係を有するように配置されることが好ましい。

また、本発明の第二の観点による光学系は、第一光学部材（L2、L6）及び第二光学部材（L1、L5）が、その結晶軸〔111〕又は結晶軸〔111〕と光学的に等価な結晶軸と、光学系の光軸（AX）とがほぼ一致し、且つ、光軸（AX）を中心としてほぼ60度だけ相対的に回転した位置関係を有するように配置されることを特徴としている。

ここで、第三光学部材（L3、L7）及び第四光学部材（L4、L8）は、その結晶軸〔100〕又は結晶軸〔100〕と光学的に等価な結晶軸と、光学系の光軸（AX）とがほぼ一致し、且つ、光軸（AX）を中心としてほぼ45度だけ相対的に回転した位置関係を有するように配置されるか、若しくは、その結晶軸〔111〕又は結晶軸〔111〕と光学的に等価な結晶軸と、光学系の光軸（AX）

X) とがほぼ一致し、且つ、光軸 (AX) を中心としてほぼ 60 度だけ相対的に回転した位置関係を有するように配置されるか、又は、その結晶軸 [110] 又は結晶軸 [110] と光学的に等価な結晶軸と、光学系の光軸 (AX) とがほぼ一致し、且つ、光軸 (AX) を中心としてほぼ 90 度だけ相対的に回転した位置関係を有するように配置されることが好ましい。

また、本発明の第二の観点による光学系は、第一光学部材 (L2, L6) 及び第二光学部材 (L1, L5) が、その結晶軸 [111] 又は結晶軸 [110] と光学的に等価な結晶軸と、光学系の光軸 (AX) とがほぼ一致し、且つ、光軸 (AX) を中心としてほぼ 90 度だけ相対的に回転した位置関係を有するように配置されることを特徴としている。

ここで、第三光学部材 (L3, L7) 及び第四光学部材 (L4, L8) は、その結晶軸 [100] 又は結晶軸 [100] と光学的に等価な結晶軸と、光学系の光軸 (AX) とがほぼ一致し、且つ、光軸 (AX) を中心としてほぼ 45 度だけ相対的に回転した位置関係を有するように配置されるか、若しくは、その結晶軸 [111] 又は結晶軸 [111] と光学的に等価な結晶軸と、光学系の光軸 (AX) とがほぼ一致し、且つ、光軸 (AX) を中心としてほぼ 60 度だけ相対的に回転した位置関係を有するように配置されるか、又は、その結晶軸 [110] 又は結晶軸 [110] と光学的に等価な結晶軸と、光学系の光軸 (AX) とがほぼ一致し、且つ、光軸 (AX) を中心としてほぼ 90 度だけ相対的に回転した位置関係を有するように配置されることが好ましい。

また、本発明の第二の観点による光学系では、第一光学部材から第四光学部材 (L1～L4, L5～L8) の結晶光学材料が、フッ化カルシウム又はフッ化バリウムであることが好ましい。

本発明の投影光学系は、第一面に形成されたパターン像を第二面に投影する投影光学系 (PL, PL1) であって、上記の何れかに記載の光学系を備えていることを特徴としている。

本発明の露光装置は、所定のパターンが形成されたマスク (R) を第一面に設定するマスクステージ (RST) と、感光性基板 (W) を第二面に設定する基板ステージ (WST) と、第一面に設定されたマスク (R) を照明する照明光学系

(I O S) と、マスク (R) のパターン像を感光性基板 (W) に投影露光する上記の投影光学系 (P L, P L 1) とを備えることを特徴としている。

本発明のマイクロデバイスの製造方法は、上記の露光装置を用いてマスク (R) のパターンを感光性基板 (W) に露光する露光工程 (S 2 6) と、露光工程により露光された光性基板 (W) を現像する現像工程 (S 2 7) とを含むことを特徴としている。

尚、本発明において、第一（第三）光学部材と第二（第四）光学部材とが光軸を中心としてほぼ 45 度だけ相対的に回転した位置関係を有するとは、第一（第 3）光学部材及び第二（第四）光学部材における光軸とは異なる方向に向けられた所定の結晶軸（例えば、結晶軸 [0 1 0], [0 0 1], [0 1 - 1], 又は [0 1 1]）同士の光軸を中心とした相対的な角度がほぼ 45 度であることを意味する。尚、結晶軸 [1 0 0] を光軸とする場合には、光軸を中心とした複屈折の影響の回転非対称性が 90 度の周期で現れる。従って、光軸を中心としてほぼ 45 度だけ相対的に回転した位置関係を有することは、光軸を中心としてほぼ 45 度 + (n × 90 度) だけ相対的に回転した位置関係を有することと同じ意味である（n は整数である）。

また、本発明において、第一（第三）光学部材と第二（第四）光学部材とが光軸を中心としてほぼ 60 度だけ相対的に回転した位置関係を有するとは、第一（第三）光学部材及び第二（第四）光学部材における光軸とは異なる方向に向けられた所定の結晶軸（例えば、結晶軸 [-1 1 1], [1 1 - 1], 又は [1 - 1 1]）同士の光軸を中心とした相対的な角度がほぼ 60 度であることを意味する。尚、結晶軸 [1 1 1] を光軸とする場合には、光軸を中心とした複屈折の影響の回転非対称性が 120 度の周期で現れる。従って、光軸を中心としてほぼ 60 度だけ相対的に回転した位置関係を有することは、光軸を中心としてほぼ 60 度 + (n × 120 度) だけ相対的に回転した位置関係を有することと同じ意味である（n は整数である）。

更に、本発明において、第一（第三）光学部材と第二（第四）光学部材とが光軸を中心としてほぼ 90 度だけ相対的に回転した位置関係を有するとは、第一（第三）光学部材及び第二（第四）光学部材における光軸とは異なる方向に向け

られた所定の結晶軸（例えば、結晶軸 [0 0 1]，[-1 1 1]，[-1 1 0]，又は[1 -1 1]）同士の光軸を中心とした相対的な角度がほぼ90度であることを意味する。尚、結晶軸[1 1 0]を光軸とする場合には、光軸を中心とした複屈折の影響の回転非対称性が180度の周期で現れる。従って、光軸を中心としてほぼ90度だけ相対的に回転した位置関係を有することは、光軸を中心としてほぼ90度+（n×180度）だけ相対的に回転した位置関係を有することと同じ意味である（nは整数である）。

尚、本発明でいうトーリック光学部材は、回転対称な球面の1方向に対して研磨を施し、直交した方向で異なるパワーを持たせたトーリックレンズでも良いし、又は直交した方向で異なるパワーを持つ反射鏡でも良く、更には、直交した方向で異なるパワーを持つ屈折率分布型のレンズでも良い。

#### 図面の簡単な説明

図1は、本発明の一実施様態に係る露光装置の全体構成の概略を示す側面図である。

図2は、本発明の一実施様態に係る投影光学系の構成を示すレンズ断面図である。

図3は、螢石の結晶軸方位を説明するための図である。

図4は、投影光学系PLに設けられる螢石レンズに対して種々の入射角で入射する光束を模式的に示す図である。

図5Aは、複屈折の影響を低減する第一手法を説明するための図で、一対の螢石レンズの一方の螢石レンズの結晶軸の配置を示している。

図5Bは、複屈折の影響を低減する第一手法を説明するための図で、図5Aに示した配置の螢石レンズに入射する光に対する複屈折量を示している。

図5Cは、複屈折の影響を低減する第一手法を説明するための図で、一対の螢石レンズの他方の螢石レンズの結晶軸の配置を示している。

図5Dは、複屈折の影響を低減する第一手法を説明するための図で、図5Cに示した配置の螢石レンズに入射する光に対する複屈折量を示している。

図5Eは、複屈折の影響を低減する第一手法を説明するための図で、図5Aに

示した配置の螢石レンズと図5Cに示した配置の螢石レンズとを組み合わせたときの結晶軸の関係を示している。

図5Fは、複屈折の影響を低減する第一手法を説明するための図で、一対の螢石レンズに入射する光に対する複屈折量を示している。

図6Aは、複屈折の影響を低減する第二手法を説明するための図で、一対の螢石レンズの一方の螢石レンズの結晶軸の配置を示している。

図6Bは、複屈折の影響を低減する第二手法を説明するための図で、図6Aに示した配置の螢石レンズに入射する光に対する複屈折量を示している。

図6Cは、複屈折の影響を低減する第二手法を説明するための図で、一対の螢石レンズの他方の螢石レンズの結晶軸の配置を示している。

図6Dは、複屈折の影響を低減する第一手法を説明するための図で、図6Cに示した配置の螢石レンズに入射する光に対する複屈折量を示している。

図6Eは、複屈折の影響を低減する第一手法を説明するための図で、図6Aに示した配置の螢石レンズと図6Cに示した配置の螢石レンズとを組み合わせたときの結晶軸の関係を示している。

図6Fは、複屈折の影響を低減する第一手法を説明するための図で、一対の螢石レンズに入射する光に対する複屈折量を示している。

図7Aは、複屈折の影響を低減する第二手法を説明するための図で、一対の螢石レンズの一方の螢石レンズの結晶軸の配置を示している。

図7Bは、複屈折の影響を低減する第二手法を説明するための図で、図7Aに示した配置の螢石レンズに入射する光に対する複屈折量を示している。

図7Cは、複屈折の影響を低減する第二手法を説明するための図で、一対の螢石レンズの他方の螢石レンズの結晶軸の配置を示している。

図7Dは、複屈折の影響を低減する第一手法を説明するための図で、図7Cに示した配置の螢石レンズに入射する光に対する複屈折量を示している。

図7Eは、複屈折の影響を低減する第一手法を説明するための図で、図7Aに示した配置の螢石レンズと図7Cに示した配置の螢石レンズとを組み合わせたときの結晶軸の関係を示している。

図7Fは、複屈折の影響を低減する第一手法を説明するための図で、一対の螢

右レンズに入射する光に対する複屈折量を示している。

図8は、本発明の他の実施様態に係る投影光学系の概略構成を示す側面図である。

図9は、マイクロデバイスの製造工程の一例を示すフローチャートである。

図10は、半導体デバイスを製造する場合における、図9のステップS13の詳細なフローの一例を示す図である。

### 好ましい実施様態

以下、図面を参照して、本発明に係る光学系、投影光学系、この投影光学系を備えた露光装置、及びこの露光装置を用いたマイクロデバイスの製造方法の実施様態について、詳細に説明する。

図1は、本発明の一実施様態に係る露光装置の全体構成の概略を示す側面図である。尚、以下の説明において、図1中に設定されたXYZ直交座標系を参照しつつ、各部材の位置関係について説明する。このXYZ直交座標系では、Y軸及びZ軸が紙面に対して平行となるよう設定され、X軸が紙面に対して垂直となる方向に設定されているが、実際には、XY平面が水平面に平行な面に設定され、投影光学系PLの光軸に沿う方向であるZ軸が、鉛直方向上方に設定される。

図1に示した露光装置10は、投影光学系PLとして屈折光学系を用い、マスクとしてのレチクルRと感光性基板としてのマスクWとを、投影光学系PLに対して一次元方向（ここでは、図1中に示したY軸方向とする）に相対的に移動させつつ、レチクルRに形成されたパターンの縮小像を、マスクW上に設定された各ショット領域に逐次転写する、ステップ・アンド・スキャン方式の露光装置である。この露光装置10は、光源11、光源11からの照明光によりレチクルRを照明する照明光学系IOS、レチクルRを保持するマスクステージとしてのレチクルステージRST、レチクルRを透過した光をウェハW上に縮小投影する投影光学系PL、ウェハWを保持する基板ステージとしてのウェハステージWSTを主要な構成としている。

光源10は、ArFエキシマレーザ（発振波長193nm）、F<sub>2</sub>レーザ（発振波長157、624nm）等の200nm以下のレーザ光を射出する光源である。

光源10は、不図示の遮光性を有するベローズ及びパイプを介してビームマッチングユニット12の一端（入射端）に接続されており、このビームマッチングユニット12の他端（出射端）は、内部にリレー光学系を内蔵したパイプ13を介して送光系14に接続されている。従って、光源11から射出されたレーザ光は、ビームマッチングユニット12、パイプ13、及び送光系14を順に介して照明光学系IOSに導かれる。

照明光学系IOSは、例えば、レーザ光のエネルギー量を調整するための可変減光器、レーザ光の断面形状を整形するためのビーム成形光学系、レーザ光の照度分布を均一化するとともに、所定形状（例えば、円形状、輪帯状、二極状、4極状）の2次光源を形成するための第一フライアイレンズ、第一フライアイレンズによって形成される2次光源からの光を集光する集光光学系、レーザ光の照度分布を更に均一化するための第二フライアイレンズ、第二フライアイレンズの射出端に配置された開口絞り板、レチクルR上における照明光の照射領域を規定するレチクルブラインド機構を構成する可動レチクルブラインド及び固定ブラインド、並びにコンデンサレンズを含んで構成される。上記構成を有する照明光学系IOSからは、所定の断面形状の照明光がほぼ均一な照度分布で射出され、レチクルRを照明する。

照明光学系IOSが備えるこれらの光学部材の内、レンズ等の光透過性光学素子の硝材は、照明光の波長に応じて、萤石（フッ化カルシウム：CaF<sub>2</sub>）、フッ化マグネシウム（MgF<sub>2</sub>）、フッ化リチウム（LiF）、フッ化バリウム（BaF<sub>2</sub>）、フッ化ストロンチウム（SrF<sub>2</sub>）、LiCAF（コルキライト：LiCaAlF<sub>6</sub>）、LiSAF（LiSrAlF<sub>6</sub>）、LiMgAlF<sub>6</sub>、LiBeAlF<sub>6</sub>、KMgF<sub>3</sub>、KCaF<sub>3</sub>、KSrF<sub>3</sub>等のフッ化物結晶、又はこれらの混晶、あるいはフッ素や水素等の物質をドープした石英硝子等、真空紫外光を透過する光学材料から選択される。尚、所定の物質をドープした石英硝子は、照明光の波長が150nm程度より短くなると透過率が低下するため、波長が150nm程度以下の真空紫外光を照明光として用いる場合には、光学素子の光学材料としては、萤石（フッ化カルシウム）、フッ化マグネシウム、フッ化リチウム、フッ化バリウム、フッ化ストロンチウム、LiCAF（コルキライト）、LiSAF

(LiSrAlF<sub>6</sub>)、LiMgAlF<sub>6</sub>、LiBeAlF<sub>6</sub>、KMgF<sub>3</sub>、KCaF<sub>3</sub>、KSrF<sub>3</sub>等のフッ化物結晶又はこれらの混晶が使用される。

尚、光源11と照明光学系IOSとの間の光路（ビームマッチングユニット12、パイプ13、及び送光系14を含む）はケーシング（不図示）で密封されており、光源11から照明光学系IOS中の最もレチクルR側の光学部材までの空間は、露光光の吸収率が低い気体であるヘリウムガスや窒素等の不活性ガスで置換されているか、あるいはほぼ真空状態に保持されている。

レチクルRは、レチクルステージRST上に、XY平面に対して平行に保持されており、本発明にいう第一面を構成している。レチクルRには転写すべき所定のパターンが形成されており、パターン領域全体のうち、X軸方向に沿って長辺を有し且つY軸方向に沿って短辺を有する矩形状（スリット状）のパターン領域が照明される。レチクルステージRSTは、図示を省略した駆動系の作用により、Y軸方向に大きなストロークで直線駆動するとともに、X軸方向とθ<sub>z</sub>方向（Z軸回りの回転方向）に関しても微小駆動が可能となっている。また、その位置座標は、移動鏡15を用いたレーザ干渉計16によって計測され且つ位置制御されている。レーザ干渉計16は、投影光学系PLに固定された固定鏡17を基準として、レチクルステージRSTのXY面内の位置（θ<sub>z</sub>回転を含む）を例えれば、0.5～1nm程度の分解能で検出する。

レチクルRに形成されたパターンは、投影光学系PLを介して、ウェハW上に転写される。この例では、投影光学系PLとして、物体面（レチクルR）側と像面（ウェハW）側の両方がテレセントリックであり、円形の投影視野を有し、屈折光学素子（レンズ素子）のみから成る1/4、1/5、又は1/6縮小倍率の屈折光学系が使用されている。このため、レチクルRに照明光が照射されると、レチクルRに形成されたパターン領域のうち、照明光によって照明された部分からの光が投影光学系PLに入射し、そのパターンの部分倒立像が、投影光学系PLの像面側の円形視野の中央に、スリット状または矩形状（多角形）に制限されて結像される。これにより、投影されたパターンの部分倒立像は、投影光学系PLの結像面に配置されたウェハW上の複数のショット領域のうちの1つのショット領域表面のレジスト層に縮小転写される。

投影光学系PLが備えるレンズ素子の硝材は、照明光の波長に応じて、萤石(フッ化カルシウム:CaF<sub>2</sub>)、フッ化マグネシウム(MgF<sub>2</sub>)、フッ化リチウム(LiF)、フッ化バリウム(BaF<sub>2</sub>)、フッ化ストロンチウム(SrF<sub>2</sub>)、LiCAF(コルキライト:LiCaAlF<sub>6</sub>)、LiSAF(LiSrAlF<sub>6</sub>)、LiMgAlF<sub>6</sub>、LiBeAlF<sub>6</sub>、KMgF<sub>3</sub>、KCaF<sub>3</sub>、KSrF<sub>3</sub>等のフッ化物結晶又はこれらの混晶、あるいはフッ素や水素等の物質をドープした石英硝子等、真空紫外光を透過する光学材料から選択される。尚、所定の物質をドープした石英硝子は、照明光の波長が150nm程度より短くなると透過率が低下するため、波長が150nm程度以下の真空紫外光を照明光として用いる場合には、光学素子の光学材料としては、萤石(フッ化カルシウム)、フッ化マグネシウム、フッ化リチウム、フッ化バリウム、フッ化ストロンチウム、LiCAF(コルキライト)、LiSAF(LiSrAlF<sub>6</sub>)、LiMgAlF<sub>6</sub>、LiBeAlF<sub>6</sub>、KMgF<sub>3</sub>、KCaF<sub>3</sub>、KSrF<sub>3</sub>等のフッ化物結晶又はこれらの混晶が使用される。

ウェハWは、ウェハホルダ18を介して、ウェハステージWST上においてXY平面に平行に真空吸着され、その表面が、本発明にいう第二面を構成している。そして、レチクルR上での矩形状の照明領域に光学的に対応するように、ウェハW上では、X軸方向に沿って長辺を有し且つY軸方向に沿って短辺を有する矩形状の露光領域にパターン像が形成される。ウェハステージWSTは、図示を省略した駆動系の作用により、ウェハ面(すなわちXY平面)に沿って二次元的に移動可能とされ、その位置座標は、移動鏡19を用いたレーザ干渉計21によって計測され且つ位置制御される。ウェハステージWSTのXY位置及び回転量(ヨーイング量、ローリング量、ピッキング量)は、投影光学系PLの鏡筒下端に固定された参照鏡20を基準として、ウェハステージWSTの一部に固定された移動鏡19の位置変化を計測するレーザ干渉計21によって、所定の分解能、例えば0.5~1nm程度の分解能でリアルタイムに計測される。

以上、本発明の一実施様態に係る露光装置の全体構成について説明したが、次に本発明の一実施様態に係る投影光学系について詳細に説明する。図2は、本発明の一実施様態に係る投影光学系の構成を示すレンズ断面図である。図2に示す

ように、本実施様態の投影光学系PLは、第一面（物体面）に位置決めされたレチクルRから順に、レンズ群G1、補正レンズL1、トーリックレンズL2、トーリックレンズL3、補正レンズL4、レンズ群G2、G3、補正レンズL5、トーリックレンズL6、開口絞りAS、トーリックレンズL7、補正レンズL8、及びレンズ群G4～G6を配置して構成されている。そして、投影光学系PLは、レチクルR（物体面）側、及び第二面（像面）に位置決めされたウェハW（像面）側の両方でテレセントリックとなっている。

前述したように、投影光学系PLが備えるレンズ素子の硝材は、照明光の波長に応じて種々のフッ化物結晶等から選択されるが、以下の説明では、投影光学系PLに設けられたレンズ群G1、補正レンズL1、トーリックレンズL2、トーリックレンズL3、補正レンズL4、レンズ群G2、G3、補正レンズL5、トーリックレンズL6、トーリックレンズL7、補正レンズL8、及びレンズ群G4～G6は全て螢石により形成されているものとする。ここで、螢石の複屈折について詳細に説明する。図3は、螢石の結晶軸方位を説明するための図である。図3を参照すると、螢石の結晶軸は、立方晶系のx y z直交座標系に基づいて規定される。すなわち、+x軸に沿って結晶軸[100]が、+y軸に沿って結晶軸[010]が、+z軸に沿って結晶軸[001]がそれぞれ規定される。

また、z x平面内において結晶軸[100]及び結晶軸[001]に対して45度の角度をなす方向に結晶軸[101]が、x y平面内において結晶軸[100]及び結晶軸[010]に対して45度をなす方向に結晶軸[110]が、y z平面内において結晶軸[010]及び結晶軸[001]に対して45度をなす方向に結晶軸[011]がそれぞれ規定される。更に+x軸、+y軸、及び+z軸に対して等しい鋭角をなす方向に結晶軸[111]が規定される。

尚、図2では、+x軸、+y軸、及び+z軸で規定される空間における結晶軸のみを図示しているが、他の空間においても同様に結晶軸が規定される。前述したように、螢石では、図3中実線で示す結晶軸[111]方向、及びこれと等価な不図示の結晶軸[-111]、[1-11]、[11-1]方向では、複屈折がほぼ零（最小）である。同様に、図3中実線で示す結晶軸[100]、[010]、[001]方向においても、複屈折がほぼ零（最小）である。一方、図3

中破線で示す結晶軸  $[1\ 1\ 0]$ ，  $[1\ 0\ 1]$ ，  $[0\ 1\ 1]$ 、及びこれらの結晶軸と等価な不図示の結晶軸  $[-1\ 1\ 0]$ ，  $[-1\ 0\ 1]$ ，  $[0\ 1\ -1]$  方向では、複屈折が最大である。

従って、螢石の結晶軸  $[1\ 0\ 0]$ ，  $[1\ 1\ 1]$  の方向に進む光については、複屈折性（直交する偏光面を有する2つの光束間の屈折率差）は生じない。よって、螢石で形成されるレンズ等の光学素子の結晶軸  $[1\ 1\ 1]$  又は結晶軸  $[1\ 0\ 0]$  と投影光学系 PL の光軸 AX とが一致するように設定すれば、光軸 AX に対して平行に進行する光に対しては複屈折が生じないため、偏光方向に応じて光の進行方向が変化するという現象は生じない。逆に、結晶軸  $[1\ 1\ 0]$  に沿って進む光に対しては複屈折量が最大になり、偏光方向に応じた光路のずれが顕著に現れる。

尚、本明細書において、相対的な結晶軸方位を厳密に定義する必要がある場合には、例えば結晶軸  $[0\ 1\ 1]$  と光学的に等価な複数の結晶軸を、 $[0\ 1\ 1]$ ， $[0\ -1\ 1]$ ， $[1\ 1\ 0]$  等のように、符号や配列位置を変えて表記（列記）する。しかしながら、相対的な結晶軸方位を厳密に定義する必要がない場合には、結晶軸  $[1\ 1\ 0]$  の表記をもって、 $[0\ 1\ 1]$ ， $[0\ -1\ 1]$ ， $[1\ 1\ 0]$  のような複数の光学的に等価な結晶軸を一括して表すものとする。

以上説明した複屈折性を示す螢石を、レンズ群 G 1、補正レンズ L 1、トーリックレンズ L 2、トーリックレンズ L 3、補正レンズ L 4、レンズ群 G 2，G 3、補正レンズ L 5、トーリックレンズ L 6、トーリックレンズ L 7、補正レンズ L 8、及びレンズ群 G 4～G 6 の硝材として用いた場合には、投影光学系 PL が所期の光学特性を有するように複屈折の影響を極力小さくする必要がある。このため、本実施様態においては、以下に示す手法を用いて、複屈折性に起因する結像性能の悪化を防止している。

#### 〔第一手法〕

いま、図 4 に示すように、投影光学系 AX に設けられる螢石レンズに対して種々の入射角で入射する光束を考える。図 4 は、投影光学系 PL に設けられる螢石レンズに対して種々の入射角で入射する光束を模式的に示す図である。図 4 に於いて符号 SF を付した平面は、投影光学系 PL に設けられた螢石レンズ（例えば、補正レンズ L 1）のレンズ表面を示しており、AX 1 は螢石レンズの光軸を示し

ている。

投影光学系PL中を進行する光束は、レンズ表面SFに対して（光軸AX1に対して）種々の角度で入射する。例えば、図4中の符号CR1を付した円は光軸AX1に対して10度の入射角で、符号CR2を付した円は光軸AX1に対して20度の入射角で、符号CR3を付した円は光軸AX1に対して30度の入射角で、符号CR4を付した円は光軸AX1に対して40度の入射角で、また、符号CR5を付した円は光軸AX1に対して50度の入射角で、それぞれレンズ表面SFに入射する光束を示している。

図5A～図5Fは、複屈折の影響を低減する第一手法を説明するための図である。尚、この手法は米国NISTのJohn H. Burnettらによって提案された手法である。これらの図において、紙面に垂直な方向は光軸AX1の方向に設定されているとする。この手法は、前述したように、一対の萤石レンズの結晶軸[111]と光軸とを一致させ、且つ光軸を中心として一対の萤石レンズを60度だけ相対的に回転させるものである。

図5Aは、一対の萤石レンズの一方の萤石レンズの結晶軸の配置を示す図であり、図5Cは、一対の萤石レンズの他方の萤石レンズの結晶軸の配置を示す図である。図5A及び図5Cを参照すると、結晶軸[111]が共に紙面に垂直な方向（光軸方向）に設定され、他の結晶軸[100], [010], [001]がそれぞれ光軸の周りで60度だけ回転した関係となるように配置されている。図5Aに示した配置の萤石レンズに入射する光に対する複屈折量を図5Bに、図5Cに示した配置の萤石レンズに入射する光に対する複屈折量を図5Dにそれぞれ示す。

図5B及び図5Dにて破線で示された5つの同心円は、内側から、光軸AX1に対して10度の角度で入射する光束、光軸AX1に対して10度の角度で入射する光束、光軸AX1に対して20度の角度で入射する光束、光軸AX1に対して30度の角度で入射する光束、光軸AX1に対して40度の角度で入射する光束、及び光軸AX1に対して50度の角度で入射する光束をそれぞれ表している。つまり、図5Bに破線で示された5つの同心円は、図4に符号CR1～CR5で示す5つの円にそれぞれ相当する。この表記は図5F、図6B、図6D、図6F、

図 7 B、図 7 D、及び図 7 Fについても同様である。

また、図 5 B、図 5 D、及び図 5 F 中の黒丸は比較的大きな屈折率を有する複屈折のない領域を、白丸は比較的小さな屈折率を有する複屈折のない領域を、ハッチングを施した小さな円（図 7 F 参照）は中間的な屈折率を有する複屈折のない領域をそれぞれ表している。つまり、黒丸、白丸、又はハッチングを施した小さな円が付された領域は、入射する光の偏光方向に拘わらず一定の屈折率を有する領域である。更に、太い円及び長い両矢印は複屈折のある領域における比較的大きな屈折率の方向を、細い円及び短い両矢印は複屈折のある領域における比較的小さな屈折率の方向をそれぞれ表している。この表記は図 6 B、図 6 D、図 6 F、図 7 B、図 7 D、及び図 7 Fについても同様である。

この場合、図 5 B 及び図 5 D を参照すると、光軸と一致している結晶軸 [111] に対応する領域は、比較的小さな屈折率を有する複屈折のない領域となる。また、結晶軸 [100]、[010]、[001] に対応する領域は、比較的大きな屈折率を有する複屈折のない領域となる。更に、結晶軸 [110]、[101]、[011] に対応する領域は、周方向の偏光に対する屈折率が比較的小さく径方向の偏光に対する屈折率が比較的大きい複屈折領域となる。このように、結晶軸 [111] を光軸に一致させた個々の萤石レンズでは、光軸から 35.26 度（結晶軸 [111] と結晶軸 [110] とのなす角度）の領域において、複屈折の影響を最大に受けることになる。

図 5 E は、図 5 A に示した配置の萤石レンズと図 5 C に示した配置の萤石レンズとを組み合わせたときの結晶軸の関係を示す図であり、図 5 F は、一対の萤石レンズに入射する光に対する複屈折量を示す図である。図 5 F を参照すると、一対の萤石レンズを 60 度だけ相対的に回転させることにより、一対の萤石レンズ全体では、複屈折が最大である結晶軸 [110]、[101]、[011] の影響が薄められることが分かる。しかしながら、光軸から 35.26 度の領域、すなわち光軸から比較的近い領域において、径方向の偏光に対する屈折率よりも周方向の偏光に対する屈折率が小さい複屈折領域が残ることになる。その結果、John H. Burnett らによって提案された第一手法では、35 度程度以上の入射角をもって入射する光束が複屈折の影響をある程度受けることになる。

## 〔第二手法〕

図6A～図6Fは、複屈折の影響を低減する第二手法を説明するための図である。図6A～図6Fにおいても、図5A～図5Fと同様に、紙面に垂直な方向が光軸AX1の方向に設定されているとする。この手法は、一対の螢石レンズの結晶軸[100]と光軸とを一致させ、且つ光軸を中心として一対の螢石レンズを45度だけ相対的に回転させるものである。図6Aは、一対の螢石レンズの一方の螢石レンズの結晶軸の配置を示す図であり、図6Cは、一対の螢石レンズの他方の螢石レンズの結晶軸の配置を示す図である。図6A及び図6Cを参照すると、結晶軸[100]が共に紙面に垂直な方向（光軸方向）に設定され、他の結晶軸[101], [1-10], [10-1], [110]がそれぞれ光軸の周りで45度だけ回転した関係となるように配置されている。

尚、図6A及び図6Cにおいては、結晶軸[100]に対向して見たときに重なって見える軸を括弧書きで示している。例えば、結晶軸[101]と重なって見える結晶軸[001]、結晶軸[1-10]と重なって見える結晶軸[0-10]、結晶軸[10-1]と重なって見える結晶軸[00-1]、結晶軸[110]と重なって見える結晶軸[010]である。

図6Aに示した配置の螢石レンズに入射する光に対する複屈折量を図6Bに、図6Cに示した配置の螢石レンズに入射する光に対する複屈折量を図6Dにそれぞれ示す。図6B及び図6Dを参照すると、光軸と一致している結晶軸[100]に対応する領域は、比較的大きな屈折率を有する複屈折のない領域となる。また、結晶軸[111], [1-11], [-11-1], [11-1]に対応する領域は、比較的小さな屈折率を有する複屈折のない領域となる。更に、結晶軸[101], [10-1], [110], [1-10]に対応する領域は、周方向の偏光に対する屈折率が比較的大きく径方向の偏光に対する屈折率が比較的小さい複屈折領域となる。このように、各群のレンズ素子では、光軸から45度（結晶軸[100]と結晶軸[101]とのなす角度）の領域において、複屈折率の影響を最大に受けることになる。

図6Eは、図6Aに示した配置の螢石レンズと図6Cに示した配置の螢石レンズとを組み合わせたときの結晶軸の関係を示す図であり、図6Fは、一対の螢石

レンズに入射する光に対する複屈折量を示す図である。図 6 F を参照すると、一対の螢石レンズを 45 度だけ相対的に回転させることにより、一対の螢石レンズ全体では、複屈折が最大である結晶軸 [101], [10-1], [110], [10-1] の影響が薄められ、光軸に対して 45 度の角度をなす領域、すなわち光軸から離れた領域において径方向の偏光に対する屈折率よりも周方向の偏光に対する屈折率が大きい複屈折領域が残ることになる。この場合、一般の投影光学系において各レンズ素子における光軸と光束との最大角度は 35 度～40 度程度である。従って、第二の手法を採用することにより、結晶軸 [101], [10-1], [110], [10-1] の複屈折の影響を実質的に受けなくなる。

また、図 5 B 及び図 5 D を参照すると、螢石レンズの光軸と結晶軸 [111] とを一致させているため、複屈折が最大となる結晶軸 [110], [101], [011] に対応する領域が光軸の周りに 120 度のピッチで存在し、30 の分布を有する複屈折の影響、すなわちコマ収差が発生するような影響が現れると考えられる。これに対して、図 6 B 及び図 6 D を参照すると、螢石レンズの光軸と結晶軸 [100] とを一致させているので、複屈折が最大となる結晶軸 [101], [10-1], [110], [1-10] に対応する領域が光軸周りに 90 度ピッチで存在し、40 の分布を有する複屈折の影響が現れる。ウェハに投影すべきパターンにおいては縦横パターンが支配的であるため、40 の分布であれば、縦横パターンに対して非点収差が発生するような影響が現れることはなく、像の崩れも顕著にならない。従って、第一手法を用いて複屈折の影響を低減するよりも、第二手法を用いて複屈折の影響を低減することが好ましい。

### [第三手法]

図 7 A～図 7 F は、複屈折の影響を低減する第三手法を説明するための図である。図 7 A～図 7 F においても、図 5 A～図 5 F 及び図 6 A～図 6 F と同様に、紙面に垂直な方向が光軸 A X 1 の方向に設定されているとする。この第三手法は、一対の螢石レンズの結晶軸 [110] と光軸とを一致させ、且つ光軸を中心として一対の螢石レンズを 90 度だけ相対的に回転させるものである。図 7 A は、一対の螢石レンズの一方の螢石レンズの結晶軸の配置を示す図であり、図 7 C は、一対の螢石レンズの他方の螢石レンズの結晶軸の配置を示す図である。図 7 A 及

び図 7 C を参照すると、結晶軸 [110] が共に紙面に垂直な方向（光軸方向）に設定され、他の結晶軸 [100]， [010]， [111]， [11-1] がそれぞれ光軸の周りで 90 度だけ回転した関係となるように配置されている。尚、図 7 A 及び図 7 C においては、結晶軸 [110] に対して向かって見たときに重なって見える軸を括弧書きで示している。例えば、結晶軸 [111] と重なって見える結晶軸 [001]、結晶軸 [11-1] と重なって見える結晶軸 [00-1] である。

図 7 A に示した配置の萤石レンズに入射する光に対する複屈折量を図 7 B に、図 7 C に示した配置の萤石レンズに入射する光に対する複屈折量を図 7 D にそれぞれ示す。図 7 B 及び図 7 D を参照すると、光軸と一致している結晶軸 [110] に対応する領域は、一方の方向の偏光に対する屈折率が比較的大きく他方の方向（一方の方向に直交する方向）の偏光に対する屈折率が比較的小さい複屈折領域となる。また、結晶軸 [100]， [010] に対応する領域は、比較的大きな屈折率を有する複屈折のない領域となる。更に、結晶軸 [111]， [11-1] に対応する領域は、比較的小さな屈折率を有する複屈折のない領域となる。

図 7 E は、図 7 A に示した配置の萤石レンズと図 7 C に示した配置の萤石レンズとを組み合わせたときの結晶軸の関係を示す図であり、図 7 F は、一対の萤石レンズに入射する光に対する複屈折量を示す図である。尚、図 7 E においては、図示の都合上、図 7 C に示した結晶軸を拡大して図示している。図 7 F を参照すると、一対の萤石レンズを 90 度だけ相対的に回転させることにより、一対の萤石レンズ全体では、複屈折が最大である結晶軸 [110] の影響が殆ど無く、光軸付近は中間的な屈折率を有する複屈折のない領域となる。すなわち、第三の手法を採用すると、複屈折の影響を実質的に受けることなく、良好な結像性能を確保することができる。

以上説明した第一手法～第三手法は、2 枚の萤石レンズからなる一対の萤石レンズを用いて複屈折の影響を低減するものであったが、複屈折の影響が解消される訳ではない。図 5 F、図 6 F、及び図 7 F を参照すると分かるように、径方向の偏光と周方向の偏光との屈折率差は、光軸を中心とした方位角に対してほぼ一様になるだけであって、屈折率差自体は残存しているからである。ここに説明す

る第四手法は、上記第一手法～第三手法を用いて複屈折の影響を低減させたときに残存する、光軸を中心とした方位角に対して一様な屈折率差を除去するものである。

この、光軸を中心とした方位角に対して一様な屈折率差を除去するためには、第一手法を適用したほぼ厚さの等しい2枚の萤石レンズでは、径方向に偏向した光に対する屈折率が周方向に偏光した光に対する屈折率よりも高くなり、第二手法を適用したほぼ厚さの等しい2枚の萤石レンズでは、径方向に偏向した光に対する屈折率が周方向に偏光した光に対する屈折率よりも低くなる性質を利用する。この性質は、結晶軸 [1 1 1] を光軸とした一対の萤石レンズと、結晶軸 [1 0 0] を光軸とした一対の萤石レンズとでは複屈折の符号が逆になることを意味する。従って、結晶軸 [1 1 1] を光軸とした一対の萤石レンズと結晶軸 [1 0 0] を光軸とした一対の萤石レンズとを組み合わせることにより、複屈折の影響をある程度除去することが可能となる。尚、上記の性質は、本件発明者によって見い出された事実である。

ところで、結晶軸 [1 0 0] を光軸とした一対の萤石レンズの複屈折量（径方向に偏向した光に対する屈折率と、周方向に偏向した光に対する屈折率との差）と、結晶軸 [1 1 1] を光軸とした一対の萤石レンズの複屈折量とは異なる。この複屈折量の相違を除去するには、複屈折量の相違に応じて、結晶軸 [1 0 0] を光軸とした一対の萤石レンズの光路長と、結晶軸 [1 1 1] を光軸とした一対の萤石レンズの光路長とを設定する。その結果、複屈折の影響をほぼ完全に除去することができる。具体的には、結晶軸 [1 0 0] を光軸とした一対の萤石レンズの複屈折量は、結晶軸 [1 1 1] を光軸とした一対の萤石レンズの複屈折量の約-1.5倍になる。このため、結晶軸 [1 1 1] を光軸とした一対の萤石レンズの光路長を、結晶軸 [1 0 0] を光軸とした一対の萤石レンズの光路長の約1.5倍に設定すればよい。かかる設定を行うことで、複屈折の影響をほぼ完全に除去することが可能となる。

以上の説明では、第一手法を用いて結晶軸の位置関係が設定された一対の萤石レンズと第二手法を用いて結晶軸の位置関係が設定された一対の萤石レンズとを組み合わせ、複屈折の影響を影響をほぼ完全に除去していた。しかしながら、第

三手法を適用したほぼ厚さの等しい2枚の蛍石レンズでは、第一手法を適用したものと同様に、径方向に偏向した光に対する屈折率が周方向に偏光した光に対する屈折率よりも高くなる。従って、第二手法を用いて結晶軸の位置関係が設定された一対の蛍石レンズと第三手法を用いて結晶軸の位置関係が設定された一対の蛍石レンズとを組み合わせ、複屈折の影響を影響をほぼ完全に除去することもできる。

更に、投影光学系PLは複数の蛍石レンズから構成されるため、第一手法を用いて結晶軸の位置関係が設定された二対の蛍石レンズ、第二手法を用いて結晶軸の位置関係が設定された二対の蛍石レンズ、第三手法を用いて結晶軸の位置関係が設定された二対の蛍石レンズ同士が組み合わされることも起こりうる。この場合には、組み合わせに応じ、第一～第三手法を用いて結晶軸の位置関係が設定された一対の蛍石レンズを更に組み合わせればよい。

以上、蛍石レンズの複屈折の影響を低減する手法について説明したが、次に、図2に示した投影光学系PLが備える蛍石レンズ各々について説明する。レンズ群G1～G4は、投影光学系PLの投影倍率及び解像度等の基本的な光学性能を決定するものであり、投影光学系PLに対して要求される光学性能に応じた設計がなされている。レンズ群G1～G4の各々は、上記第一～第四手法を用い、複屈折による影響が最小になるように、又は、ほぼ完全に除去されるように設計されている。例えば、レンズ群G1については、第四手法を用いて結晶軸の位置関係が設定された4枚のレンズを含んで構成されている。レンズ群G1～G4についても同様である。

トーリックレンズL2は、射出面にトーリック面、すなわち投影光学系PLの光軸AXに直交する面内において設定された直交する2方向における曲率が相違する面が形成されており、光軸AXに対して回転非対称なパワーを有する。このトーリックレンズL2は、投影光学系PLの入射端側（第一面側：レチクルR側）に配置され、投影光学系PLの光軸AXに対して回転非対称な倍率誤差を補正するために設けられる。尚、トーリックレンズL2は、本発明にいう第一光学部材に相当する。

補正レンズL1は、蛍石で形成されているトーリックレンズL2の複屈折の影

響を軽減するために設けられ、その結晶軸がトーリックレンズL 2を形成する蛍石の結晶と所定の位置関係を有するように配置される。具体的には、前述した第一～第三手法の何れかを用いて、トーリックレンズL 2及び補正レンズL 1を形成する蛍石の結晶の結晶軸がそれぞれ設定されている。尚、補正レンズL 1は、本発明にいう第二光学部材に相当する。上記補正レンズL 1及びトーリックレンズL 2は、上記第一～第三手法の何れかを用いて設定された結晶軸の所定の位置関係を保ったまま、光軸AXの周りに回転可能に構成され、更に、上記第一～第三手法の何れかを用いて設定された結晶軸の所定の位置関係を保ったまま、光軸AXを横切る方向に移動可能に構成されている。

トーリックレンズL 3は、入射面にトーリック面が形成されており、光軸AXに対して回転非対称なパワーを有する。このトーリックレンズL 3は、トーリックレンズL 2の近傍、すなわち投影光学系PLの入射端側（第一面側：レチクルR側）に配置され、投影光学系PLの光軸AXに対して回転非対称な倍率誤差を補正するために設けられる。尚、トーリックレンズL 3は、本発明にいう第三光学部材に相当する。補正レンズL 4は、蛍石で形成されているトーリックレンズL 3の複屈折の影響を軽減するために設けられ、その結晶軸がトーリックレンズL 3を形成する蛍石の結晶の結晶軸と所定の位置関係を有するように配置される。具体的には、前述した第一～第三手法の何れかを用いて、トーリックレンズL 3及び補正レンズL 4を形成する蛍石の結晶の結晶軸がそれぞれ設定されている。尚、補正レンズL 4は、本発明にいう第四光学部材に相当する。また、トーリックレンズL 3及び補正レンズL 4は、上記第一～第三手法の何れかを用いて設定された結晶軸の所定の位置関係を保ったまま、光軸AXの周りに回転可能に構成され、更に、上記第一～第三手法の何れかを用いて設定された結晶軸の所定の位置関係を保ったまま、光軸AXを横切る方向に移動可能に構成されている。

また、トーリックレンズL 2及び補正レンズL 1と、トーリックレンズL 3及び補正レンズL 4とは、前述した第四手法を用いて組み合わせられることになる。ここで、複屈折の影響を極力避けるために、第一手法又は第三手法を用いて結晶軸の位置関係が設定されたトーリックレンズL 2及び補正レンズL 1に対して、第二手法を用いて結晶軸の位置関係が設定されたトーリックレンズL 3及び補正

レンズL4を組み合わせるか、又は、第二手法を用いて結晶軸の位置関係が設定されたトーリックレンズL2及び補正レンズL1に対して、第一手法又は第三手法を用いて結晶軸の位置関係が設定されたトーリックレンズL3及び補正レンズL4を組み合わせることが好ましい。

以上のように、図2に示した投影光学系PLは、光軸AXに対して回転非対称な倍率誤差を補正するための2つのトーリックレンズL2, L3を入射端側（第一面側：レチクルR側）に備えているため、トーリックレンズL2の光軸AX周りの回転角と、トーリックレンズL2に対するトーリックレンズL3の光軸AX周りの相対的な回転角を適宜設定し、更に、光軸AXを横切る方向の位置を適宜設定することで、投影光学系PLの、回転非対称な倍率誤差の大きさ及び向きを効果的に補正することができる。また、トーリックレンズL2を回転させるとときには、前述した上記第一～第三手法の何れかを用いて設定された結晶軸の所定の位置関係を保ったまま補正レンズL1も回転し、トーリックレンズL3を回転させるとときには、前述した上記第一～第三手法の何れかを用いて設定された結晶軸の所定の位置関係を保ったまま補正レンズL4も回転するため、複屈折の影響により結像性能を悪化させることなく、投影光学系PLの回転非対称な倍率誤差を補正することができる。

また、前述した第一手法では、入射光束が光軸AXに対して35.26度の角度をなす領域において、径方向の偏光に対する屈折率よりも周方向の偏光に対する屈折率が小さい複屈折領域が残り、第二手法では、入射光束が光軸AXに対して45度の角度をなす領域において、径方向の偏光に対する屈折率よりも周方向の偏光に対する屈折率が大きい複屈折領域が残っている（図5F及び図6F参照）。これに対しては、前述したように、第一手法又は第三手法を用いて結晶軸の位置関係を設定したトーリックレンズL2及び補正レンズL1に対して、第二手法を用いて結晶軸の位置関係を設定したトーリックレンズL3及び補正レンズL4を組み合わせるか、又は、第二手法を用いて結晶軸の位置関係を設定したトーリックレンズL2及び補正レンズL1に対して、第一手法又は第三手法を用いて結晶軸の位置関係を設定したトーリックレンズL3及び補正レンズL4を組み合わせることで、これらの領域に残存する屈折率差をほぼ除去することができる。しか

しながら、これらの組み合わせを用いることができない場合を考慮して、又は、更なる複屈折の影響の除去を行うために、トーリックレンズL2及びトーリックレンズL3の少なくとも一方に入射する光束と光軸AXとのなす角、及び、これらの少なくとも一方を通過する光束と光軸AXとのなす角が35度以下となるように設定されることが好ましく、更には20度以下に設定されることが好ましい。

トーリックレンズL6は、入射面にトーリック面が形成されており、光軸AXに対して回転非対称なパワーを有する。このトーリックレンズL6は、投影光学系PLの瞳面（開口絞りASが配置されている面）の近傍に配置され、投影光学系PLに残存する回転非対称な軸外収差成分（例えば、非点収差）を補正するために設けられる。尚、トーリックレンズL6は、本発明にいう第一光学部材に相当する。補正レンズL5は、萤石で形成されているトーリックレンズL6の複屈折の影響を軽減するために設けられ、その結晶軸がトーリックレンズL6を形成する萤石の結晶と所定の位置関係を有するように配置される。

具体的には、前述した第一～第三手法の何れかを用いて、トーリックレンズL6及び補正レンズL5を形成する萤石の結晶の結晶軸がそれぞれ設定されている。尚、補正レンズL6は、本発明にいう第三光学部材に相当する。また、トーリックレンズL6及び補正レンズL5は、上記第一～第三手法の何れかを用いて設定された結晶軸の所定の位置関係を保ったまま、光軸AXの周りに回転可能に構成され、更に、上記第一～第三手法の何れかを用いて設定された結晶軸の所定の位置関係を保ったまま、光軸AXを横切る方向に移動可能に構成されている。

トーリックレンズL7は、射出面にトーリック面が形成されており、光軸AXに対して回転非対称なパワーを有する。このトーリックレンズL7は、トーリックレンズL6の近傍、すなわち投影光学系PLの瞳面近傍に配置され、トーリックレンズL6と同様に、投影光学系PLに残存する回転非対称な軸外収差成分（例えば、非点収差）を補正するために設けられる。このトーリックレンズL7は、本発明にいう第三光学部材に相当する。補正レンズL8は、萤石で形成されているトーリックレンズL7の複屈折の影響を軽減するために設けられ、その結晶軸がトーリックレンズL7を形成する萤石の結晶と所定の位置関係を有するように配置される。

具体的には、前述した第一～第三手法の何れかを用いて、トーリックレンズL7及び補正レンズL8を形成する蛍石の結晶の結晶軸がそれぞれ設定されている。尚、補正レンズL8は、本発明にいう第四光学部材に相当する。また、トーリックレンズL7及び補正レンズL8は、上記第一～第三手法の何れかを用いて設定された結晶軸の所定の位置関係を保ったまま、光軸AXの周りに回転可能に構成され、更に、上記第一～第三手法の何れかを用いて設定された結晶軸の所定の位置関係を保ったまま、光軸AXを横切る方向に移動可能に構成されている。

また、トーリックレンズL6及び補正レンズL5と、トーリックレンズL7及び補正レンズL8とは、前述した第四手法を用いて組み合わせられる。ここで、複屈折の影響を極力避けるために、第一手法又は第三手法を用いて結晶軸の位置関係を設定したトーリックレンズL6及び補正レンズL5に対して、第二手法を用いて結晶軸の位置関係を設定したトーリックレンズL7及び補正レンズL8を組み合わせるか、又は、第二手法を用いて結晶軸の位置関係を設定したトーリックレンズL6及び補正レンズL5に対して、第一手法又は第三手法を用いて結晶軸の位置関係を設定したトーリックレンズL7及び補正レンズL8を組み合わせることが好ましい。

図2に示した投影光学系PLは、投影光学系PLに残存する非対称収差を補正する一対のトーリックレンズL6、L7を瞳面の近傍に備えている。従って、トーリックレンズL6の光軸AX周りの回転角と、トーリックレンズL6に対するトーリックレンズL7の光軸AX周りの相対的な回転角を適宜設定し、更に、光軸AXを横切る方向の位置を適宜設定することで、投影光学系PLの回転非対称な軸外収差成分の大きさ及び向きを効果的に補正することができる。また、トーリックレンズL6を回転させるときには、前述した上記第一～第三手法の何れかを用いて設定された結晶軸の所定の位置関係を保ったまま補正レンズL5も回転し、トーリックレンズL7を回転させるときには、前述した上記第一～第三手法の何れかを用いて設定された結晶軸の所定の位置関係を保ったまま補正レンズL8も回転するため、複屈折の影響により結像性能を悪化させることなく、投影光学系PLの回転非対称な軸外収差成分を補正することができる。

更に、第一面側（レチクルR側）に配置されたトーリックレンズL2、L3を

回転させて投影光学系PLの回転非対称な倍率誤差を補正する場合には、投影光学系PLの回転非対称な軸外収差成分（例えば、非点収差）に対する補正の寄与を小さく抑えつつ、回転非対称な倍率誤差に対する補正の寄与を大きくすることが可能である。また、瞳面又はその近傍に配置されたトーリックレンズL6, L7を回転させて投影光学系PLの回転非対称な軸外収差成分（例えば、非点収差）を補正する場合には、投影光学系PLの回転非対称な倍率誤差に対する補正の寄与を小さく抑えつつ、回転非対称な軸外収差成分（例えば、非点収差）に対する補正の寄与を大きくすることができる。

また、トーリックレンズL6, L7についても、トーリックレンズL2, L3の場合と同様の理由により、トーリックレンズL6及びトーリックレンズL7の少なくとも一方に入射する光束と光軸AXとのなす角、及び、これらの少なくとも一方を通過する光束と光軸AXとのなす角が35度以下となるように設定されることが好ましく、更には20度以下に設定されることが好ましい。

次に、本発明の他の実施様態による投影光学系について説明する。図8は、本発明の他の実施様態による投影光学系の概略構成を示す側面図である。図8に示した投影光学系PL1は、反射屈折型の投影光学系である。尚、このような投影光学系は、例えば米国特許5,805,334号公報の第5図又は特開2000-47114号公報等に開示されている。

この投影光学系PL1は、レチクルRからの光に基づいてレチクルR上のパターンの中間像を形成する第一結像光学系（G10～G12, RF1, RF2）と、この中間像からの光に基づいて中間像の像（最終像）をウェハ42上の露光領域内に再結像させる第2結像光学系（G13～G18）とを有し、更に、投影光学系PL1の回転非対称な倍率誤差を補正する補正光学系（L1～L4）と、投影光学系PL1に残存する非点収差等の回転非対称な軸外収差成分を補正する補正光学系（L5～L8）とを備える。

第一結像光学系（G10～G12, RF1, RF2）は、第一の光軸AX1に沿って配置されたレンズ群G10、このレンズ群G10を介した光を偏向させる反射面を有する光路折り曲げ鏡RF1、第一の光軸AX1に対して所定の角度（例えば90～130度程度）で交差する第二の光軸AX2に沿って配置された

レンズ群G11, G12、及び凹面反射鏡RFを備えている。レンズ群G10～G12は、萤石から形成されたレンズ素子を複数備えており、前述した第一～第四手法を用いて各々のレンズ素子の結晶軸の位置関係を設定することにより、複屈折の影響を軽減するための処置が施されている。第一結像光学系(G10～G12, RF1, RF2)において、光路折り曲げ鏡RF1の反射面で反射された光は、レンズ群G11, G12を順に介して凹面反射鏡RF2で反射され、再びレンズG12, G11を通過し、光路折り曲げ鏡RF1の別の反射面へ向かう。そして、この光路折り曲げ鏡RF1の別の反射面の近傍に、レチクルR上のパターンの中間像が形成される。

第二結像光学系(G13～G18)は、第一の光軸AX1に沿って配置された複数のレンズ群G13～G18と、コヒーレンスファクタ(σ値)を制御するための開口絞りASとを有し、第一結像光学系(G10～G12, RF1, RF2)によって形成された中間像からの光に基づいて、レチクルRのパターンの二次像をウェハW上の露光領域内に形成する。ここで、複数のレンズ群G13～G18は、レンズ群G10～G12と同様に、萤石から形成されたレンズ素子を複数備えており、前述した第一～第四手法を用いて各々のレンズ素子の結晶軸の位置関係を設定することにより、複屈折の影響を軽減するための処置が施されている。

補正光学系(L1～L4)は、補正レンズL1、トーリックレンズL2、トーリックレンズL3、及び補正レンズL4を備える。これらは図2に示した投影光学系PL1が備えるものと同様の構成及び機能を有する。また、補正光学系(L5～L8)は、補正レンズL5、トーリックレンズL6、トーリックレンズL7、及び補正レンズL8を備える。これらは図2に示した投影光学系PL1が備えるものと同様の構成及び機能を有する。

従って、補正レンズL1及びトーリックレンズL2を対にするとともに、トーリックレンズL3及び補正レンズL4を対にして、これらの少なくとも一方の対を第一の光軸AX1の周りで回転させ、又は、第一の光軸AX1を横切る方向に移動させることにより、複屈折の影響による結像性能の悪化を招かずに投影光学系PL1の回転非対称な軸外収差成分(例えば、非点収差)に対する補正の寄与を小さく抑えつつ、回転非対称な倍率誤差に対する補正の寄与を大きくすること

が可能である。

また、補正レンズL5及びトーリックレンズL6を対にするとともに、トーリックレンズL7及び補正レンズL8を対にして、これらの少なくとも一方の対を第一の光軸AX1の周りで回転させ、又は、第一の光軸AX1を横切る方向に移動させることで、複屈折の影響により結像性能を悪化させることなく、投影光学系PL1の回転非対称な倍率誤差に対する補正の寄与を小さく抑えつつ、回転非対称な軸外収差成分（例えば、非点収差）に対する補正の寄与を大きくすることができます。本実施様態では、図8に示した構成を有する反射屈折型の投影光学系に萤石の複屈折性を有する光学材料を用いたにもかかわらず、複屈折の影響を実質的に受けることなく良好な結像性能を有し、且つ、投影光学系PL1の回転非対称な倍率誤差及び回転非対称な軸外収差成分を個別に調整することができる投影光学系を実現することができる。

以上、本発明の実施様態について説明したが、本発明は上記実施様態に制限されず、本発明の範囲内で自由に変更が可能である。例えば、上記実施様態ではステップ・アンド・スキャン方式の露光装置を例に挙げて説明したが、ステップ・アンド・リピート方式の露光装置にも適用可能である。また、前述した実施様態においては、光源としてF<sub>2</sub>レーザ光源を用いるものとしたが、本発明はこれに限定されるものではなく、例えば波長146nmのKr<sub>2</sub>レーザ光源、波長126nmのAr<sub>2</sub>レーザ光源等の真空紫外光源を用いても良い。

更に、光源としてDFB半導体レーザ又はファイバーレーザから発振される赤外域、又は可視域の单一波長レーザ光を、例えばエルビウム（又はエルビウムとイットリビウムの両方）がドープされたファイバーアンプで増幅し、非線形光学結晶を用いて紫外光に波長変換した高調波を用いても良い。例えば、单一波長レーザの発振波長を1.51～1.59μmの範囲内とすると、発生波長が189～199nmの範囲内である8倍高調波、又は発生波長が151～159nmの範囲内である10倍高調波が出力される。

特に、発振波長を1.544～1.553μmの範囲内とすると、発生波長が193～194nmの範囲内の8倍高調波、すなわちArFエキシマレーザ光とほぼ同一波長となる紫外光が得られ、発振波長を1.57～1.58μmの範囲

内とすると、発生波長が  $157 \sim 158 \text{ nm}$  の範囲内の 10 倍高調波、すなわち  $F_2$  レーザ光とほぼ同一波長となる紫外光が得られる。また、発振波長を  $1.03 \sim 1.12 \mu\text{m}$  の範囲内とすると、発生波長が  $147 \sim 160 \text{ nm}$  の範囲内である 7 倍高調波が output され、特に発振波長を  $1.099 \sim 1.106 \mu\text{m}$  の範囲内とすると、発生波長が  $157 \sim 158 \mu\text{m}$  の範囲内の 7 倍高調波、すなわち  $F_2$  レーザ光とほぼ同一波長となる紫外光が得られる。この場合、单一波長発振レーザとしては、例えばイットリビウム・ドープ・ファイバーレーザを用いることができる。

また、本発明の光学系は、上述の実施様態で説明したように、投影光学系に配置される場合のみならず、他の光学系にも適用することができる。例えば、レチクル R に形成されたレチクルアライメントマークの光学像とウェハ W に形成されたウェハアライメントマークの光学像との少なくとも一方を、投影光学系を介して観察してレチクル R とウェハ W との相対位置を計測するアライメントセンサについても適用可能である。

また、図 2 に示した投影光学系 PL は、1 枚のトーリックレンズ（例えば、トーリックレンズ L 2）と 1 枚の補正レンズ（例えば、補正レンズ L 1）とが対とされていたが、1 枚のトーリックレンズに対して複数枚の補正レンズが対とされても良く、複数枚のトーリックレンズに対して複数枚の補正レンズが対とされていても良い。但し、1 枚又は複数枚のトーリックレンズと複数枚の補正レンズとの間において、前述した第一～第四手法を用いて各々の結晶軸の相対的な位置関係が設定される必要がある。また、本発明にいう第一光学部材（例えば、トーリックレンズ L 2）と第二光学部材（例えば、補正部材 L 1）とは、物理的に光軸に沿って近接した位置に配置される必要は必ずしも無く、離間して配置されても良く、更には、第一光学部材と第二光学部材との間に他の光学部材が配置されていても良い。但し、第一光学部材と第二光学部材との間における各々の結晶軸の相対的な位置関係は、第一～第四手法で説明した関係の何れかになるよう設定されることが条件となる。

また、本発明は半導体素子の製造に用いられる露光装置だけではなく、液晶表示素子（LCD）等を含むディスプレイの製造に用いられ、デバイスパターンを

ガラスプレート上へ転写する露光装置、薄膜磁気ヘッドの製造に用いられ、デバイスパターンをセラミックウェハ上へ転写する露光装置、及びCCD等の撮像素子の製造に用いられる露光装置等にも適用することができる。更には、光露光装置、EUV露光装置、X線露光装置、及び電子線露光装置などで使用されるレチクル又はマスクを製造するために、ガラス基板又はシリコンウェハなどに回路パターンを転写する露光装置にも本発明を適用できる。ここで、DUV(遠紫外)光やVUV(真空紫外)光などを用いる露光装置では、一般的に透過型レチクルが用いられ、レチクル基板としては、石英ガラス、フッ素がドープされた石英ガラス、螢石、フッ化マグネシウム、又は水晶などが用いられる。また、プロキシミティ方式のX線露光装置、又は電子線露光装置などでは透過型マスク(ステンシルマスク、メンブレンマスク)が用いられ、マスク基板としてはシリコンウェハなどが用いられる。

次に、本発明の一実施様態による露光装置及び露光方法をリソグラフィ工程で使用したマイクロデバイスの製造方法の実施様態について説明する。図9は、マイクロデバイス(ICやLSI等の半導体チップ、液晶パネル、CCD、薄膜磁気ヘッド、マイクロマシン等)の製造例のフローチャートを示す図である。図9に示すように、まず、ステップS10(設計ステップ)において、マイクロデバイスの機能・性能設計(例えば、半導体デバイスの回路設計等)を行い、その機能を実現するためのパターン設計を行う。引き続き、ステップS11(マスク製作ステップ)において、設計した回路パターンを形成したマスク(レチクル)を作成する。一方、ステップS12(ウェハ製造ステップ)において、シリコン等の材料を用いてウェハを製造する。

次に、ステップS13(ウェハ処理ステップ)において、ステップS10～ステップS12で用意したマスクとウェハを使用して、後述するように、リソグラフィ技術等によってウェハ上に実際の回路等を形成する。次いで、ステップS14(デバイス組立ステップ)において、ステップS13で処理されたウェハを用いてデバイス組立を行う。このステップS14には、ダイシング工程、ボンディング工程、及びパッケージング工程(チップ封入)等の工程が必要に応じて含まれる。最後に、ステップS15(検査ステップ)において、ステップS14で作

製されたマイクロデバイスの動作確認テスト、耐久性テスト等の検査を行う。こうした工程を経た後にマイクロデバイスが完成し、出荷される。

図10は、半導体デバイスの場合における、図9のステップS13の詳細なフローの一例を示す図である。図10中、ステップS21（酸化ステップ）においてはウェハの表面を酸化させる。ステップS22（CVDステップ）においてはウェハ表面に絶縁膜を形成する。ステップS23（電極形成ステップ）においてはウェハ上に電極を蒸着により形成する。ステップS24（イオン打込みステップ）においてはウェハにイオンを打ち込む。以上のステップS21～S24のそれぞれは、ウェハ処理の各段階の前処理工程を構成しており、各段階において必要な処理に応じて選択されて実行される。

ウェハプロセスの各段階において、上述の前処理工程が終了すると、以下のように後処理工程が実行される。この後処理工程では、まず、ステップ25（レジスト形成ステップ）において、ウェハに感光剤を塗布する。引き続き、ステップ26（露光ステップ）において、上で説明したリソグラフィシステム（露光装置）及び露光方法によってマスクの回路パターンをウェハに転写する。次に、ステップ27（現像ステップ）において、露光されたウェハを現像し、ステップ28（エッチングステップ）において、レジストが残存している部分以外の部分の露出部材をエッチングにより取り去る。そして、ステップ29（レジスト除去ステップ）において、エッチングが済んで不要となったレジストを取り除く。これらの前処理工程と後処理工程とを繰り返し行うことによって、ウェハ上に多重に回路パターンが形成される。

以上説明した本実施様態のマイクロデバイス製造方法を用いれば、露光工程（ステップS26）において、上記の複屈折の影響による結像性能の悪化を招くことなしに収差が極めて小さく抑えられた露光装置が用いられるため、レチカルRに形成されたパターンをウェハW上へ忠実に転写することができる。その結果、最小線幅が0.1  $\mu$ m程度の高集積度のデバイスを歩留まり良く生産することができる。

## 請求の範囲

1. 光軸に沿って複数の光学部材が配置された光学系であって、  
波長が 200 nm 以下の光を実質的に透過させる結晶光学材料から形成され、  
前記光学系の光軸に対して回転非対称なパワーを有する第一光学部材と、  
波長が 200 nm 以下の光を実質的に透過させる結晶光学材料から形成され、  
結晶軸が前記第一光学部材の結晶軸と所定の位置関係を有するよう配置された少  
なくとも 1 つの第二光学部材と  
を含む光学系。
2. 前記第一光学部材及び前記第二光学部材は、前記結晶軸の所定の位置関係  
を保ったまま、前記光軸の周りに回転可能に構成される請求項 1 記載の光学系。
3. 前記第一光学部材及び前記第二光学部材は、前記結晶軸の所定の位置関係  
を保ったまま、前記光軸を横切る方向に移動可能に構成される請求項 1 または 2  
に記載の光学系。
4. 前記第一光学部材及び前記第二光学部材は、前記光学系の入射端側に配置  
される請求項 1 から 3 のいずれか 1 項に記載の光学系。
5. 前記第一光学部材及び前記第二光学部材は、前記光学系の瞳面又はその近  
傍に配置される請求項 1 から 3 のいずれか 1 項に記載の光学系。
6. 前記第一光学部材は、前記光学系の光軸に直交する面内において互いに直  
交する 2 方向におけるパワーが異なるトーリック型光学部材を含む請求項 1 から  
5 のいずれか 1 項に記載の光学系。
7. 前記第一光学部材に入射する光束及び前記第一光学部材を通過する光束と  
前記照明系の光軸とのなす角が、20 度以下に設定される請求項 1 から 6 のいず  
れか 1 項に記載の光学系。
8. 前記第一光学部材及び前記第二光学部材は、その結晶軸 [100] 又はそ  
の結晶軸 [100] と光学的に等価な結晶軸と、前記光学系の光軸とがほぼ一致  
し、且つ、前記光軸を中心としてほぼ 45 度だけ相対的に回転した位置関係を有  
するように配置される請求項 1 から 7 のいずれか 1 項に記載の光学系。
9. 前記第一光学部材及び前記第二光学部材は、その結晶軸 [111] 又はそ  
の結晶軸 [111] と光学的に等価な結晶軸と、前記光学系の光軸とがほぼ一致

し、且つ、前記光軸を中心としてほぼ60度だけ相対的に回転した位置関係を有するように配置される請求項1から7のいずれか1項に記載の光学系。

10. 前記第一光学部材及び前記第二光学部材は、その結晶軸[110]又はその結晶軸[110]と光学的に等価な結晶軸と、前記光学系の光軸とがほぼ一致し、且つ、前記光軸を中心としてほぼ90度だけ相対的に回転した位置関係を有するように配置される請求項1から7のいずれか1項に記載の光学系。

11. 前記第一光学部材及び前記第二光学部材の結晶光学材料が、フッ化カルシウム又はフッ化バリウムである請求項1から10のいずれか1項に記載の光学系。

12. 光軸に沿って複数の光学部材が配置された光学系であって、

波長が200nm以下の光を実質的に透過させる結晶光学材料から形成され、前記光学系の光軸に対して回転非対称なパワーを有する第一光学部材と、

波長が200nm以下の光を実質的に透過させる結晶光学材料から形成され、結晶軸が前記第一光学部材の結晶軸と所定の位置関係を有するよう配置された少なくとも1つの第二光学部材と、

波長が200nm以下の光を実質的に透過させる結晶光学材料から形成され、前記光学系の光軸に対して回転非対称なパワーを有する第三光学部材と、

波長が200nm以下の光を実質的に透過させる結晶光学材料から形成され、結晶軸が前記第三光学部材の結晶軸と所定の位置関係を有するよう配置された少なくとも1つの第四光学部材と

を含む光学系。

13. 記第一光学部材及び前記第二光学部材、並びに、前記第三光学部材及び前記第四光学部材の少なくとも1組は、前記結晶軸の所定の位置関係を保ったまま、前記光軸の周りに回転可能に構成される請求項12記載の光学系。

14. 前記第一光学部材及び前記第二光学部材、並びに、前記第三光学部材及び前記第四光学部材の少なくとも1組は、前記結晶軸の所定の位置関係を保ったまま、前記光軸を横切る方向に移動可能に構成される請求項12または13に記載の光学系。

15. 前記第一光学部材ないし前記第四光学部材が、前記光学系の入射端側に

配置される請求項 1 2 から 1 4 のいずれか 1 項に記載の光学系。

1 6. 前記第一光学部材ないし前記第四光学部材は、前記光学系の瞳面又はその近傍に配置される請求項 1 2 から 1 4 のいずれか 1 項に記載の光学系。

1 7. 前記第一光学部材及び前記第三光学部材は、前記光学系の光軸に直交する面内において互いに直交する 2 方向におけるパワーが異なるトーリック型光学部材を含む請求項 1 2 から 1 6 のいずれか 1 項に記載の光学系。

1 8. 前記第一光学部材及び前記第三光学部材に入射する光束並びに前記第一光学部材及び前記第三光学部材を通過する光束と前記照明系の光軸とのなす角が 20 度以下に設定される請求項 1 2 から 1 7 のいずれか 1 項に記載の光学系。

1 9. 前記第一光学部材及び前記第二光学部材は、その結晶軸 [100] 又はその結晶軸 [100] と光学的に等価な結晶軸と、前記光学系の光軸とがほぼ一致し、且つ、前記光軸を中心としてほぼ 45 度だけ相対的に回転した位置関係を有するように配置される請求項 1 2 から 1 8 のいずれか 1 項に記載の光学系。

2 0. 前記第三光学部材及び前記第四光学部材は、その結晶軸 [100] 又はその結晶軸 [100] と光学的に等価な結晶軸と、前記光学系の光軸とがほぼ一致し、且つ、前記光軸を中心としてほぼ 45 度だけ相対的に回転した位置関係を有するように配置される請求項 1 9 記載の光学系。

2 1. 前記第三光学部材及び前記第四光学部材は、その結晶軸 [111] 又はその結晶軸 [111] と光学的に等価な結晶軸と、前記光学系の光軸とがほぼ一致し、且つ、前記光軸を中心としてほぼ 60 度だけ相対的に回転した位置関係を有するように配置される請求項 1 9 記載の光学系。

2 2. 前記第三光学部材及び前記第四光学部材は、その結晶軸 [110] 又はその結晶軸 [110] と光学的に等価な結晶軸と、前記光学系の光軸とがほぼ一致し、且つ、前記光軸を中心としてほぼ 90 度だけ相対的に回転した位置関係を有するように配置される請求項 1 9 記載の光学系。

2 3. 前記第一光学部材及び前記第二光学部材は、その結晶軸 [111] 又はその結晶軸 [111] と光学的に等価な結晶軸と、前記光学系の光軸とがほぼ一致し、且つ、前記光軸を中心としてほぼ 60 度だけ相対的に回転した位置関係を有するように配置される請求項 1 2 から 1 8 のいずれか 1 項に記載の光学系。

24. 前記第三光学部材及び前記第四光学部材は、その結晶軸〔100〕又はその結晶軸〔100〕と光学的に等価な結晶軸と、前記光学系の光軸とがほぼ一致し、且つ、前記光軸を中心としてほぼ45度だけ相対的に回転した位置関係を有するように配置される請求項23記載の光学系。

25. 前記第三光学部材及び前記第四光学部材は、その結晶軸〔111〕又はその結晶軸〔111〕と光学的に等価な結晶軸と、前記光学系の光軸とがほぼ一致し、且つ、前記光軸を中心としてほぼ60度だけ相対的に回転した位置関係を有するように配置される請求項23記載の光学系。

26. 前記第三光学部材及び前記第四光学部材は、その結晶軸〔110〕又はその結晶軸〔110〕と光学的に等価な結晶軸と、前記光学系の光軸とがほぼ一致し、且つ、前記光軸を中心としてほぼ90度だけ相対的に回転した位置関係を有するように配置される請求項23記載の光学系。

27. 前記第一光学部材及び前記第二光学部材は、その結晶軸〔111〕又はその結晶軸〔110〕と光学的に等価な結晶軸と、前記光学系の光軸とがほぼ一致し、且つ、前記光軸を中心としてほぼ90度だけ相対的に回転した位置関係を有するように配置される請求項12から18のいずれか1項に記載の光学系。

28. 前記第三光学部材及び前記第四光学部材は、その結晶軸〔100〕又はその結晶軸〔100〕と光学的に等価な結晶軸と、前記光学系の光軸とがほぼ一致し、且つ、前記光軸を中心としてほぼ45度だけ相対的に回転した位置関係を有するように配置される請求項27記載の光学系。

29. 前記第三光学部材及び前記第四光学部材は、その結晶軸〔111〕又はその結晶軸〔111〕と光学的に等価な結晶軸と、前記光学系の光軸とがほぼ一致し、且つ、前記光軸を中心としてほぼ60度だけ相対的に回転した位置関係を有するように配置される請求項27記載の光学系。

30. 前記第三光学部材及び前記第四光学部材は、その結晶軸〔110〕又はその結晶軸〔110〕と光学的に等価な結晶軸と、前記光学系の光軸とがほぼ一致し、且つ、前記光軸を中心としてほぼ90度だけ相対的に回転した位置関係を有するように配置される請求項27記載の光学系。

31. 前記第一光学部材ないし前記第四光学部材の結晶光学材料が、フッ化カ

ルシウム又はフッ化バリウムである請求項12から30のいずれか1項に記載の光学系。

32. 第一面に形成されたパターン像を第二面へ投影する投影光学系であって、請求項1から請求項31の何れか一項に記載の光学系を備えている投影光学系。

33. 所定のパターンが形成されたマスクを前記第一面に設定するマスクステージと、

感光性基板を前記第二面に設定する基板ステージと、

前記第一面に設定された前記マスクを照明する照明光学系と、

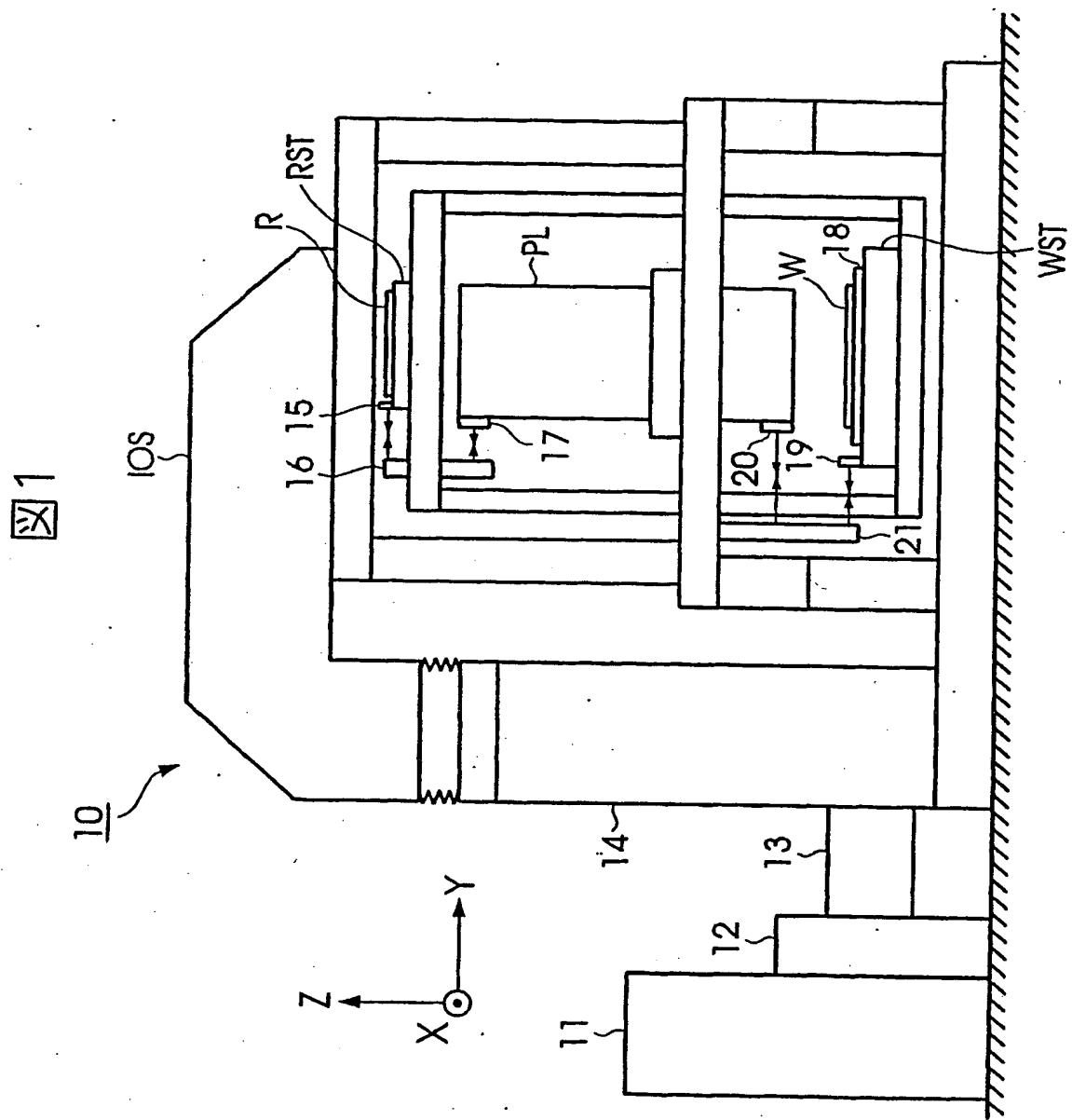
前記マスクのパターン像を前記感光性基板に投影露光する請求項32記載の投影光学系と

を備える露光装置。

34. 請求項34記載の露光装置を用いて前記マスクのパターンを前記感光性基板に露光する露光工程と、

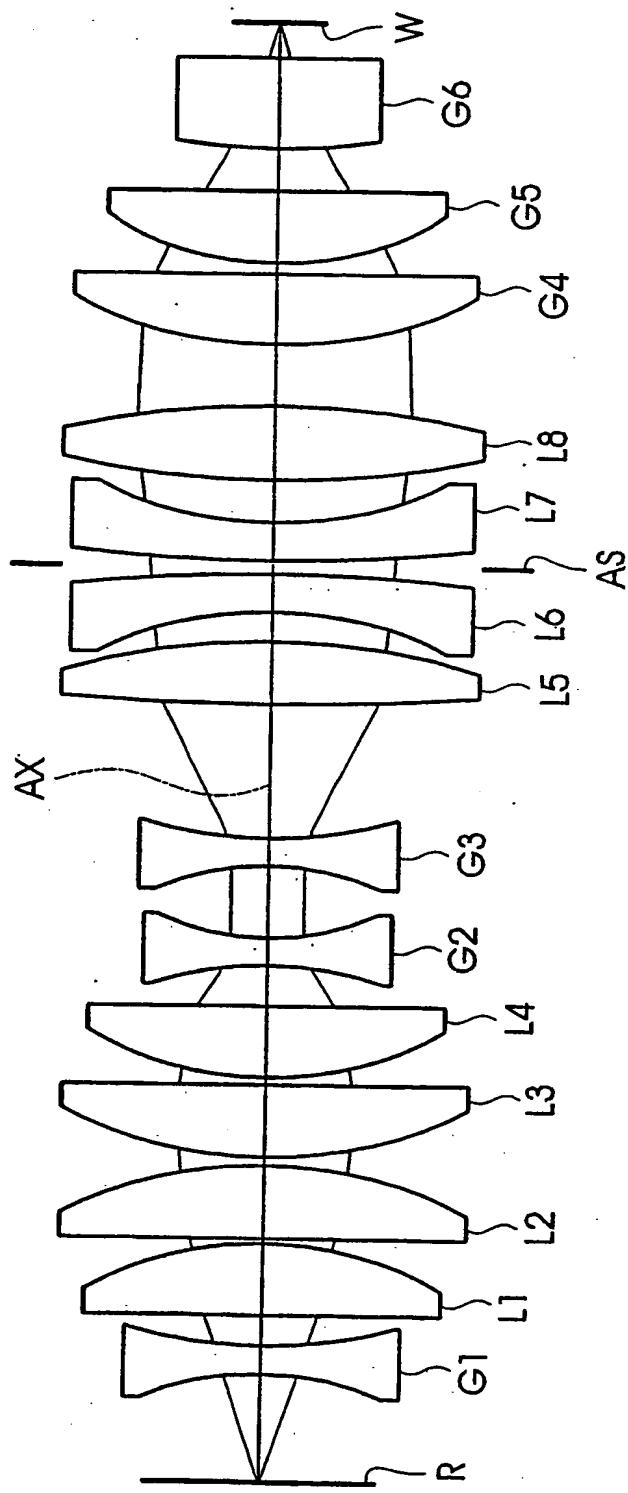
前記露光工程により露光された前記感光性基板を現像する現像工程とを含むマイクロデバイスの製造方法。

1/10



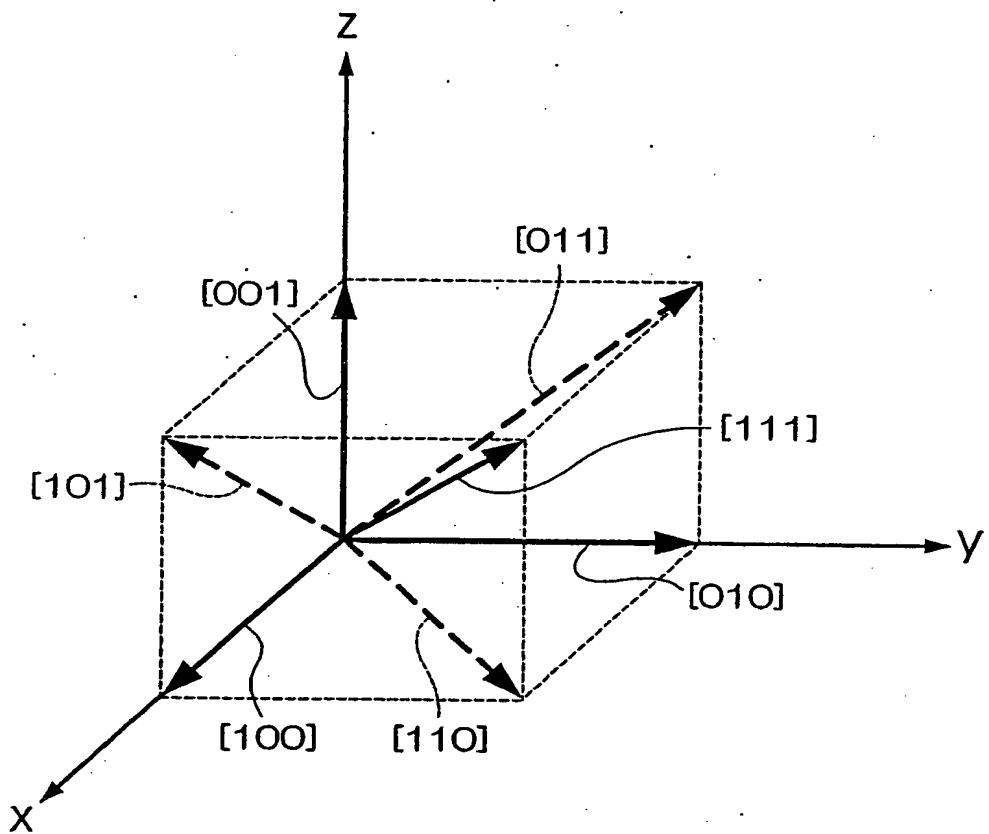
2/10

図2



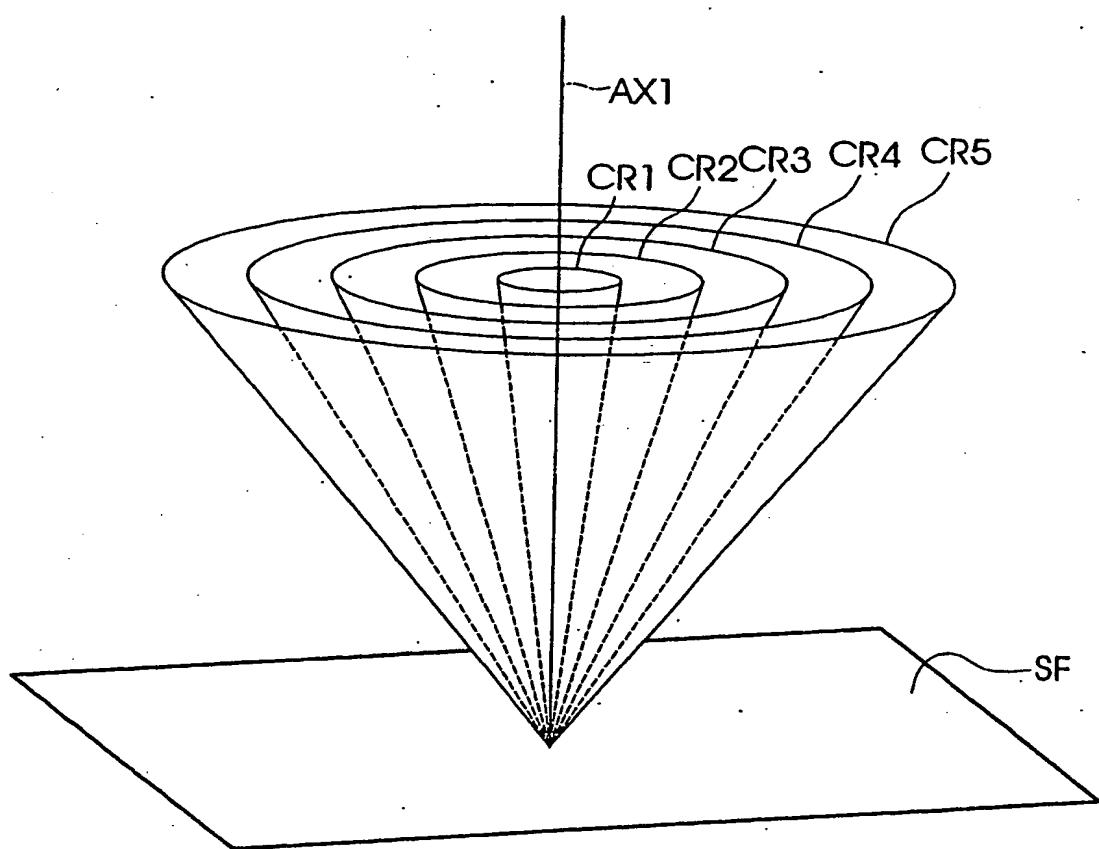
3/10

図3



4/10

図4



5/10

図5A

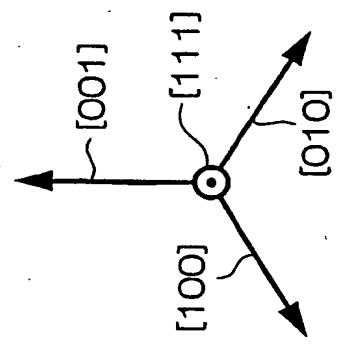


図5C

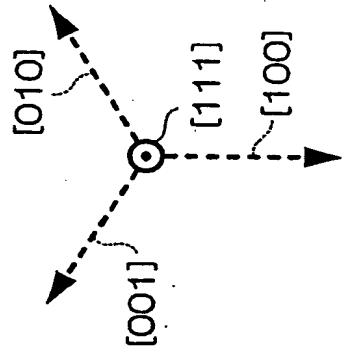


図5E

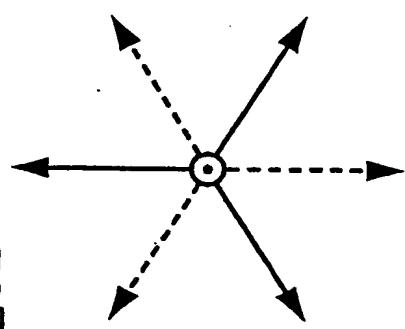


図5B

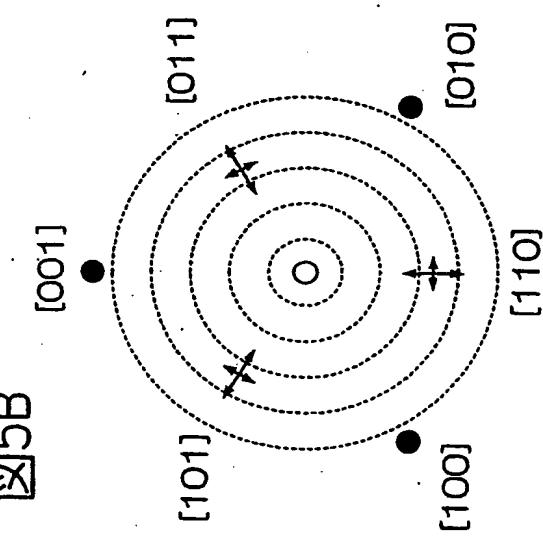


図5D

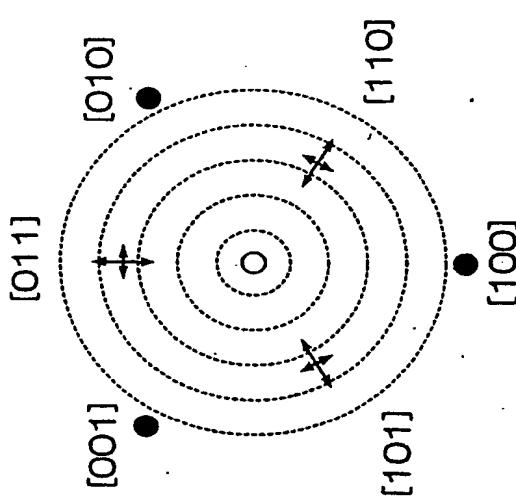
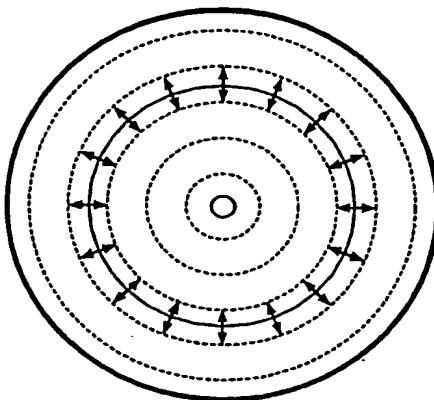


図5F



6/10

図6A

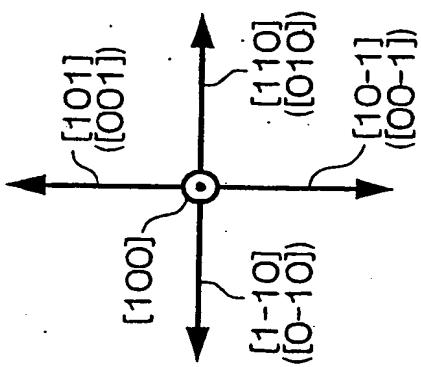


図6C

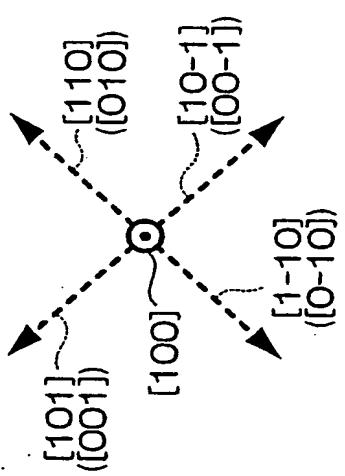


図6E

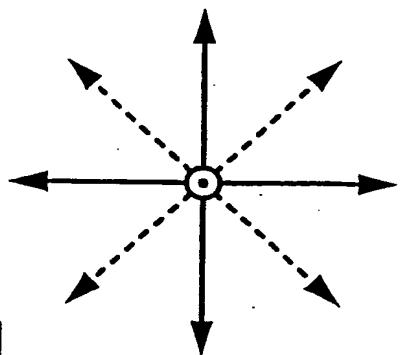


図6B

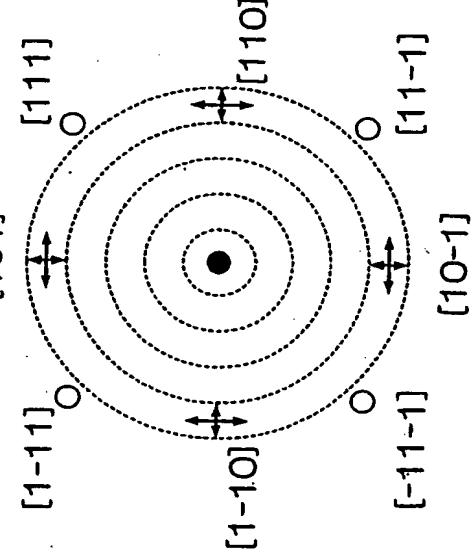


図6D

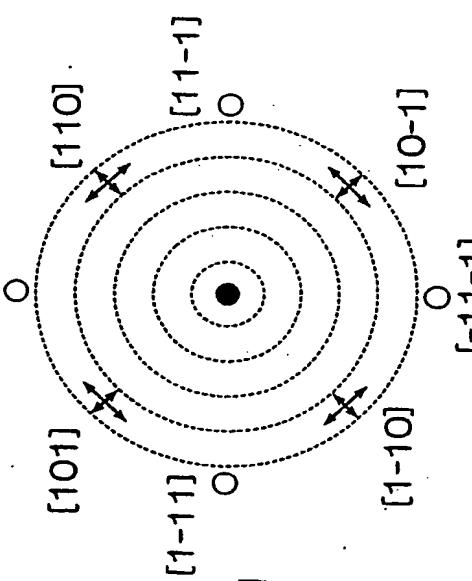
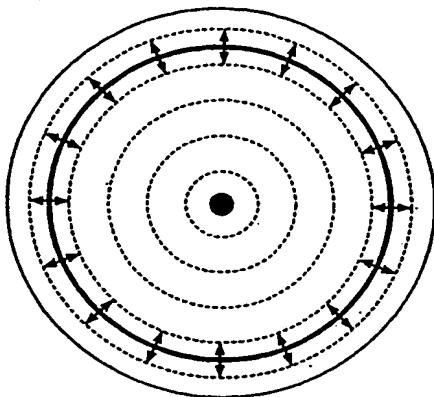
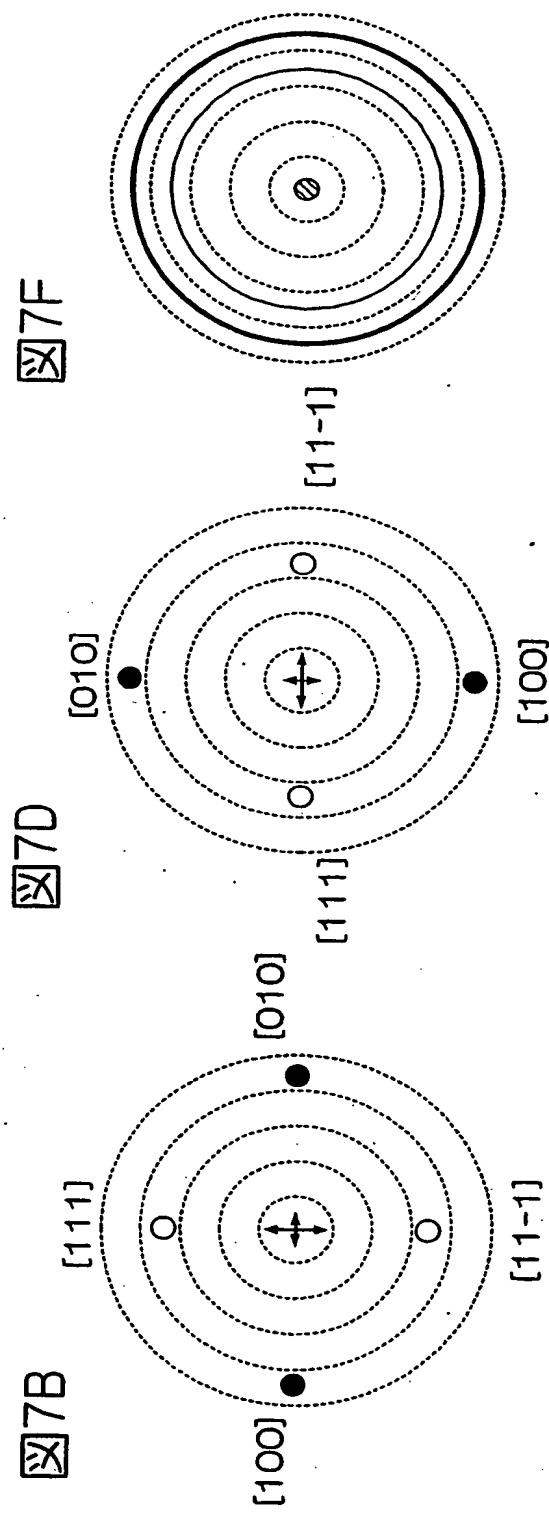
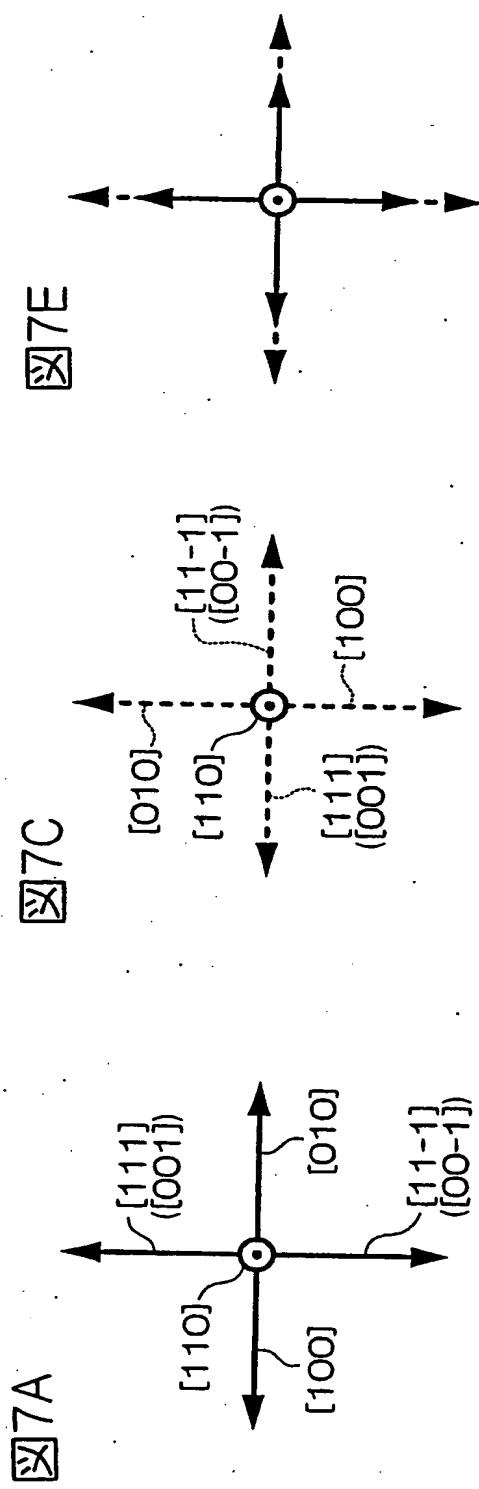


図6F

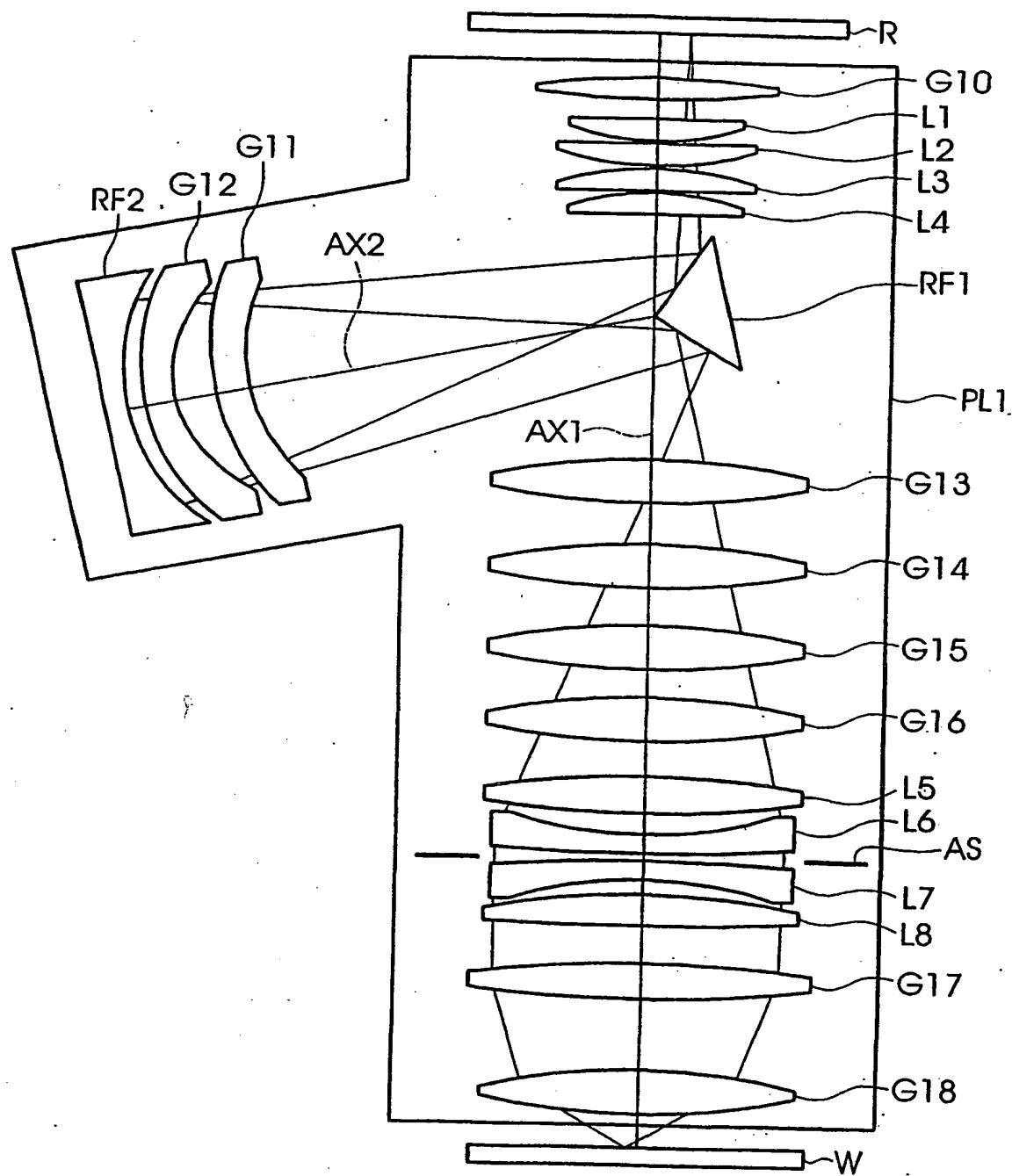


7/10



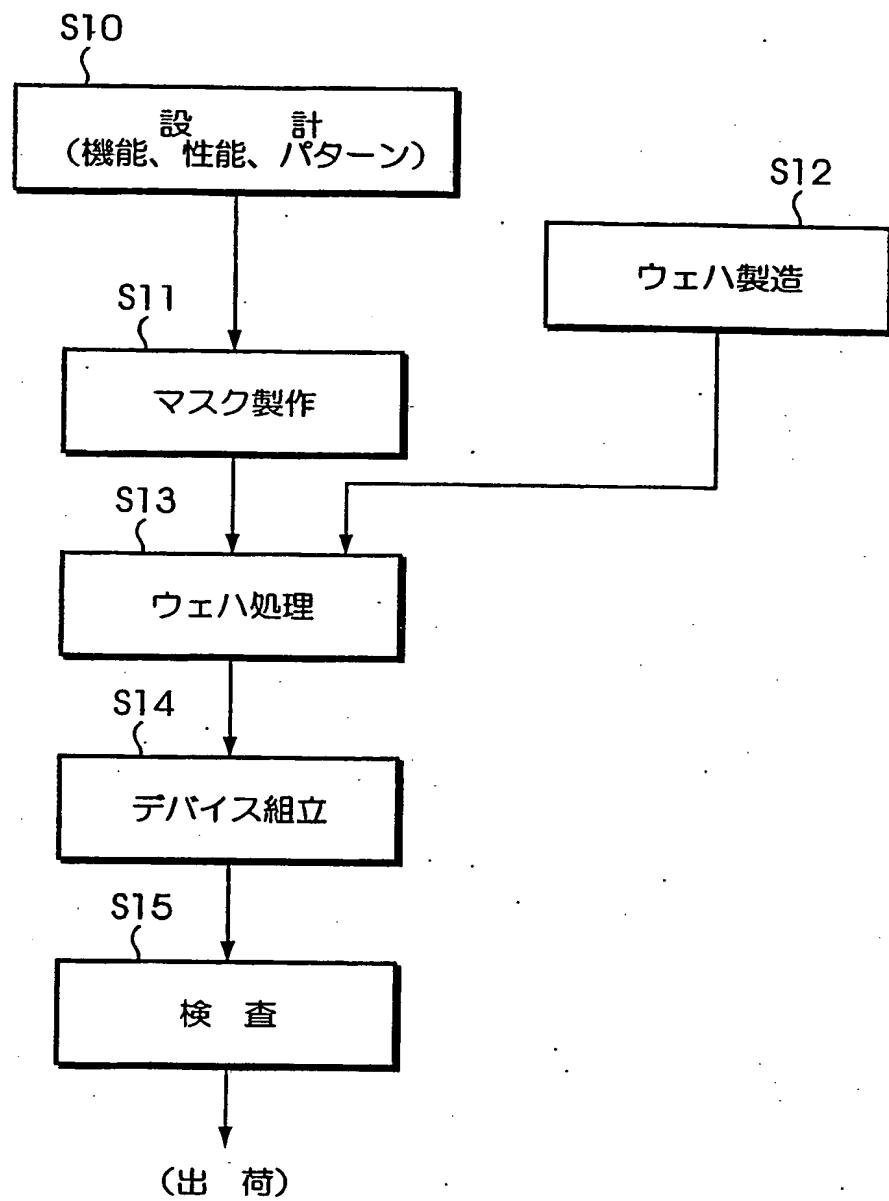
8/10

図8



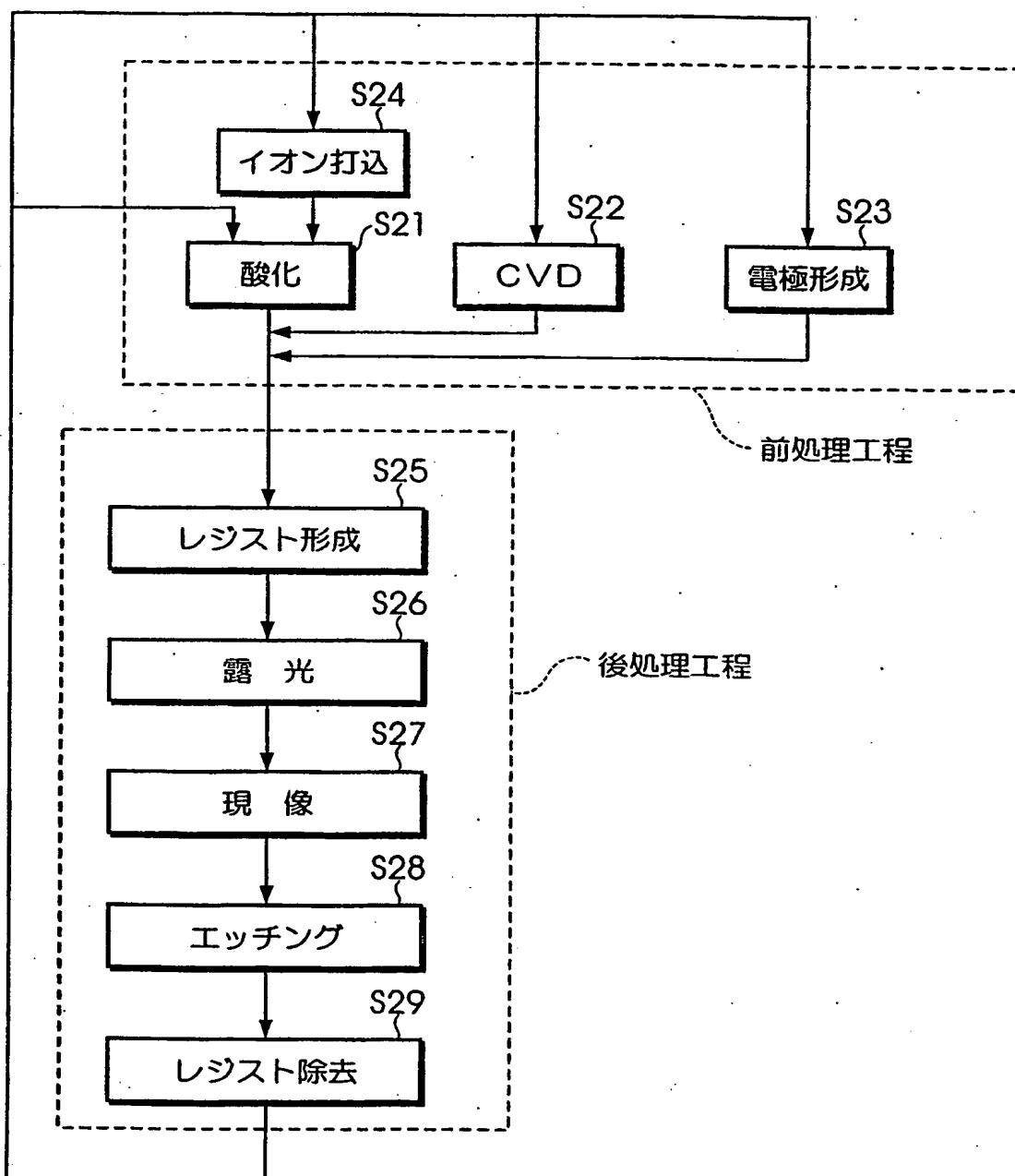
9/10

図9



10/10

図10



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP02/08726

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl<sup>7</sup> G02B13/24, G02B27/28, G03F7/20, G03F7/22, H01L21/02

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl<sup>7</sup> G02B13/24, G02B27/28, G03F7/20, G03F7/22, H01L21/02

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2002
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2002	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2002

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	US 4643534 A (General Electric Co.), 17 February, 1987 (17.02.87), Column 4, lines 18 to 68; column 6, line 64 to Column 7, line 68; Figs. 1A, 1B, 1C, 1D & JP 61-503054 A	1-34
Y	JP 2000-331927 A (Canon Inc.), 30 November, 2000 (30.11.00), Page 5, left column, lines 10 to 30; page 5, left column, line 44 to right column, line 7; page 7, left column, lines 4 to 36; Figs. 1, 6 (Family: none)	1-34
Y	EP 1063684 A (Nikon Corp.), 06 January, 2000 (06.01.00), Page 3, lines 38 to 55; page 7, line 43 to page 8, line 7; Fig. 5 & WO 00/41226 A	1-34

 Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

## \* Special categories of cited documents:

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier document but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
- "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search  
19 September, 2002 (19.09.02)Date of mailing of the international search report  
08 October, 2002 (08.10.02)Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

## 国際調査報告

国際出願番号 PCT/JP02/08726

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))  
 Int. C1' G02B13/24, G02B27/28,  
 G03F7/20, G03F7/22,  
 H01L21/02

## B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))  
 Int. C1' G02B13/24, G02B27/28,  
 G03F7/20, G03F7/22,  
 H01L21/02

## 最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1922-1996年  
 日本国公開実用新案公報 1971-2002年  
 日本国登録実用新案公報 1994-2002年  
 日本国実用新案登録公報 1996-2002年

## 国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

## C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	US 4643534 A (General Electric Company) 1987. 02. 17, 第4欄第18~68行, 第6欄第64行~第7欄第68行, 第1A図, 第1B図, 第1C 図, 第1D図 & JP 61-503054 A	1-34
Y	JP 2000-331927 A (キヤノン株式会社) 2000. 11. 30 第5頁左欄第10~30行, 同頁同欄第44行~同頁右欄第7行, 第7頁左欄第4~36行, 図1, 図6 (ファミリーなし)	1-34

C欄の続きにも文献が列挙されている。

パテントファミリーに関する別紙を参照。

## \* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示す  
もの  
 「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日  
以後に公表されたもの  
 「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行  
日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する  
文献 (理由を付す)  
 「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献  
 「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

## の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって  
出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論  
の理解のために引用するもの  
 「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明  
の新規性又は進歩性がないと考えられるもの  
 「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以  
上の文献との、当業者にとって自明である組合せに  
よって進歩性がないと考えられるもの  
 「&」同一パテントファミリー文献

## 国際調査を完了した日

19. 09. 02

## 国際調査報告の発送日

08.10.02

## 国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)  
 郵便番号100-8915  
 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

## 特許庁審査官 (権限のある職員)

吉野 公夫



2V 8106

電話番号 03-3581-1101 内線 3229

C (続き) .	関連すると認められる文献	関連する 請求の範囲の番号
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	
Y	EP 1063684 A (Nikon Corporation) 2000. 01. 06, 第3頁第38~55行, 第7頁第43行~第8頁第7行, 第5図 & WO 00/41226 A	1-34